



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Mihhail Tsõganov

**RAALPROJEKTEERIMISE TARKVARA SOLID EDGE
FEM PAKETI JUHEND ISESEISVAKS TÖÖKS**

SOLID EDGE FEM FOR INDEPENDENT STUDY

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Aare Aan, PhD

Tartu 2018

LÜHIKE KOKKUVÕTE



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

www.emu.ee

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Mihhail Tsõganov		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Raalprojekteerimise tarkvara Solid Edge FEM paketi juhend iseseisvaks tööks			
Lehekülgi: 34	Jooniseid: 83	Tabeleid: -	Lisasid: 2
<p>Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Sotsiaalteadused, S270 Pedagoogika ja didaktika</p> <p>Juhendaja(d): Lektor Aare Aan</p> <p>Kaitsmiskoht ja - aasta: Tartu 2018</p>			
<p>Programmi Solid Edge Simulation juhendid ja õppematerjalid on enamasti võõrkeelsed ja hetkel puudub eestikeelne juhend. Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on luua tarkvarale Solid Edge Simulation eestikeelne juhend iseseisevaks tööks. Antud tarkvaraga on võimalik teha erinevaid tugevusarvutis kui ka soojusjuhtivuse arvutusi. Antud arvutused aitavad inseneridel jõuda kiiremini vastupidavale ja optimaalsemale tulemuseni oma töös. Töö lisades on kaks samm-sammulist harjutusülesannet. Esimene on koostu tugevusarvutuse ja teine on soojusjuhtivuse kohta. Lisaks on tehtud abistavad videod mudeli koostamisest, mille kättesaadavus on näidatud töö kasutatud kirjanduse loetelus</p>			
Märksõnad: Programm, Detail, Simulatsioon, Muudel, Koostatud, Soojuse simulatsioon			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Mihhail Tsõganov		Curriculum: Engineering	
Title: Solid Edge Fem for independent study			
Pages: 34	Figures: 83	Tables: -	Appendixes: 2
Chair: Biosystems Engineering Field of research and (CERC S) code: Social Sciences, S270 Pedagogy and didactics Supervisors: Aare Aan Place and date: Tartu 2018			
Manuals for Solid Edge Simulation and training materials are generally in foreign languages, Estonian instructions are hard to find. The purpose of this bachelor work was to create a strong manual in Estonian language according to the software of Solid Edge Simulation. Simulation is important today for engineers as it is easier to make a detail on computer and check this detail before it gets under influence of forces. There are 2 step by step exercises with operation adding: first is a construction of detail simulation and second is a heat simulation. In addition were made auxiliary videos for development of model, links to which are available in the list of used literature.			
Keywords: Program, Detail, Simulation, Construct, Heat Simulation			

SISUKORD	
SISSEJUHATUS	5
1. ÜLEVAADE PROGRAMMIST SOLID EDGE.....	6
1.1. Solid Edge projekteerimise tarkvara.....	6
1.3. Solid Edge Simulatsiooni võimalused	6
2. SOLID EDGE LEM KESKKONNA FUNKTSIOONID	7
2.1. Solid Edge LEM keskkonnas arvutuste tegemine	7
2.2. Solid Edge Simulatsiooni nuppude selgitused.....	7
3. SOLID EDGE SIMULATIOON	17
3.1 Arvutus staatilistele jõududele	17
3.2 Võnkumiste arvutus	24
3.3 Nõtkete arvutus	26
3.4. Soojusarvutus	29
KOKKUVÕTE	33
KASUTATUD KIRJANDUS	34
SOLID EDGE FEM FOR INDEPENDENT STUDY	35
Lisa A. Ülesanne 1 – Solid Edge Simulatsioon koostatud detail.	37
Lisa B. Ülesanne 2 – Solid Edge Soojus Simulatsioon.....	41

SISSEJUHATUS

Paljudel joonestustarkvaradel on lisaks joonestamisele võimalik kasutada erinevaid arvutuste keskkondi, enamasti on selleks lõplike elementide meetodil toimuv tugevusarvutuste tegemine. Kuna need tarkvarad on enamasti inglise või mõnes muus keeles, on nende õppimine ja kasutamine raskendatud.

Käesoleva lõputöö eesmärk on luua raalprojekteerimise tarkvara *Solid Edge FEM* õppematerjali iseõppijale..

Bakalaureusetöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis antakse ülevaade *Solid Edge FEM* paketist ning kirjeldatakse seda kõike funktsioonidega. Töö lisades on 2 harjutusülesannet, kus on täpselt õpetatud käskluse funktsionaalsust ja on tehtud mudelid nagu näidis.

Töö koostamise ajal kasutati *Solid Edge ST 10* akadeemilist versiooni ning abiks oli ka *Solid Edge „Help“* menüü.

1. ÜLEVAADE PROGRAMMIST SOLID EDGE

1.1. Solid Edge projekteerimise tarkvara

1. Selle süsteemi esimene eelis on sünkroonse tehnoloogia kasutamine, mis ühendab otsese modelleerimise kiirust ja lihtsust parameetrilise modelleerimise täpsusega. Käesolev programm võimaldab samaaegselt töötada nii otsese kui ka parameetrilise modelleerimise tööriistadega. [1]

2. Selle disainisüsteemi teine tugevus on töö suurte koostudega. *Siemens PLM Software* poolt on välja töötatud *PRO Solidi* geomeetrilist tuuma, mille tõttu erineb see programm oma konkurentidest töötamise kiirusest ja paindlikkusest suurte koostudega. [1]

3. *Solid Edge* programmis kasutatakse ka unikaalseid tööriistu, mis annavad võimalust töödelda lehtmetail detaile, mis omakorda võimaldavad programmi kasutajal kujundada painutusoperatsioonide elemente ja stantsimiselemente. [1]

1.2. Lisavõimalused

1. Torude projekteerimine
2. Töö metallkonstruktsioonidega
3. Elektriliste komponentide loomine ja töötamine juhtmetega
4. Tehnoloogiliste seadmete arendamine
5. *Solid Edge* simulatsiooni osa on integreeritud moodul lõplike elementide arvutamiseks
6. Sisseehitatud võimsad visualiseerimisvahendid põhinevad *KeyShot*’il. [1]

1.3. Solid Edge Simulatsiooni võimalused

Solid Edge Simulatsioon võimaldab teha arvutusi lõplike elementide meetodi abil. Käesolev programm toetab 4 tüüpi analüüsi:

1. Staatika arvutused
2. Võnkumiste arvutused
3. Nõtke arvutused
4. Soojusarvutused [1]

2.SOLID EDGE LEM KESKKONNA FUNKTSIOONID

2.1. Solid Edge LEM keskkonnas arvutuste tegemine

Solid edge LEM keskkonnas saam kasutada abifunktsioone. Üheks abifunktsiooniks on töö koos lihtsustatud geomeetriaga arvutuste tegemiseks *Solid Edge* LEM keskkonnas. Seda funktsiooni kasutatakse, kui koostus on palju ebaolulisi detaile, mis ei mõjuta vastupidavust koormusele ja temperatuurile, siis saab need lihtsustus funktsiooniga jätta arvutustest välja. Samuti kui on olemas lehtmetall detailid, mis on õhukese seina paksusega, siis on vaja kasutada väga väikseid elemente arvutamiseks, kuid see teeb ajamahukaks arvutamise.

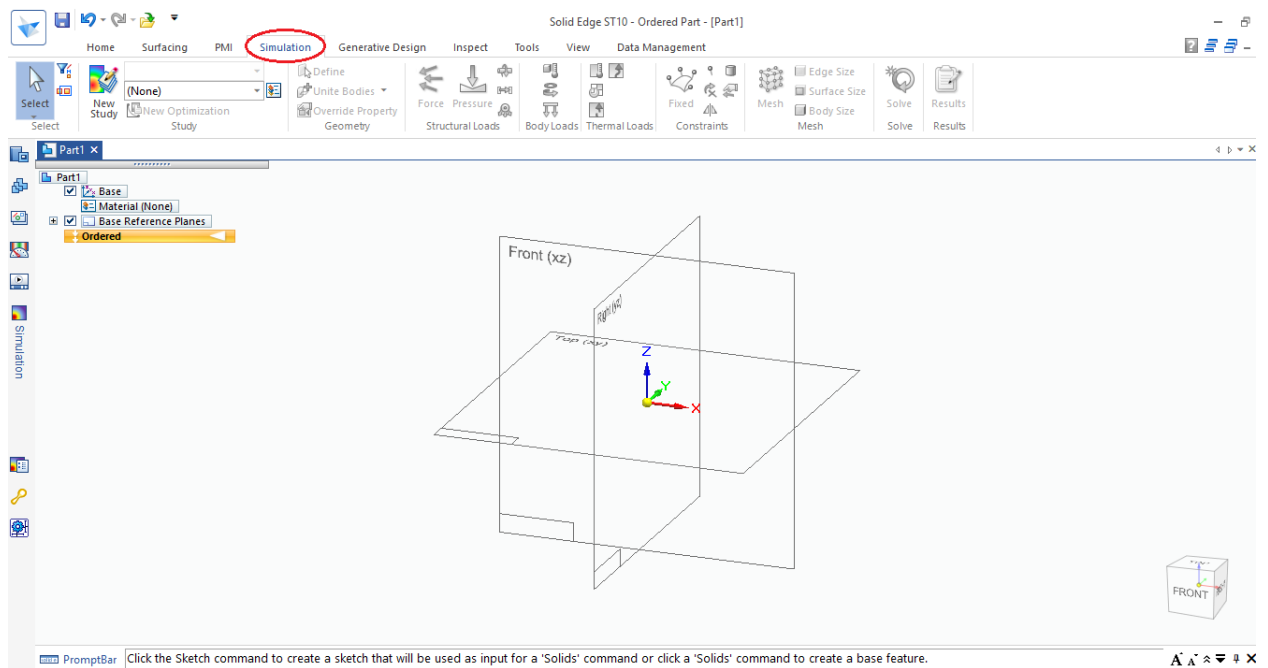
Elementide võrk võib olla muutuva suurusega või kogu ulatuses sama suur. Muutuva suurusega võrku kasutatakse selleks, et olulistes detaili piirkondades saada täpsemaid arvutuste tulemusi või väikeste detailide korral. Samal ajal võib teha erinevaid elementide võrke eriosade jaoks, mis kiirendavad arvutusi. Võimalikud on 2D ja 3D elementide võrgud. Lehtmetall detailide jaoks saab kasutada 2D võrke.

Solid Edge programm pakub erinevaid võimalusi luua sidemeid detailide vahel. On võimalik kasutada ühendamist liimiga, poltidega ja lihtsalt puudutades. Erinevate sidemete kasutamise korral arvutatakse tulemusi erinevalt.

Arvutuse tulemuste näitamiseks on loodud eraldi alamoodul *Solid Edge* programmis, kus on võimalik näha, millised arvutused arvutati käesolevatel tingimustel koostule või detailile. Selles moodulis on olemas võimalus teha videosi, mis näitavad, millistes kohtades esinevad nõrgad punktid. Lisaks sellele võimaldab programm teha üksikasjalikku aruannet, mida on hea kasutada arvutuse tulemuste esitamiseks, ning vormistada seda erinevates formaatides.

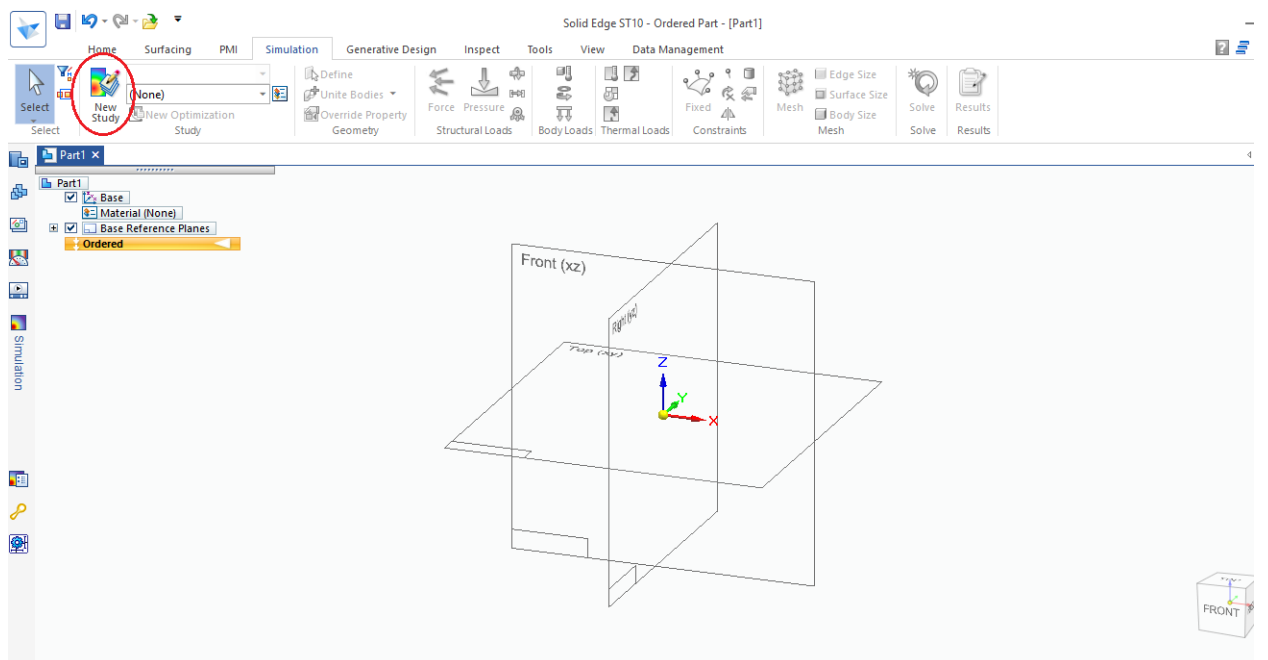
2.2. Solid Edge Simulatsiooni nuppude selgitused

Alguses on vaja avada simulatsiooni (*Simulation*) menüüriba (joonis 1.1).



Joonis 1.1. Solid Edge tarkvara

Nüüd on nähtav selle keskkonna erinevad menüüid. Arvutuste tegemise alustamiseks on vaja vajutada uue uurimise (*New Study*) nuppu (Joonis 1.2).



Joonis 1.2. Simulatsiooni valimine

Pärast vajutamist, avaneb uus aken, kus on võimalik täpsemalt ehitada oma simulatsiooni. Siin tuleb valida uurimise tüüp (*Study type*), näiteks jõuarvutused staatilisele tasakaalule (*Linear Static*), normaal režiimid võnkumisele (*Normal Modes*), nõtkte arvutused (*Linear*

Buckling), staatiline soojusvahetus (*Steady State Heat Transfer*), soojusvahetus ja jõuarvutused staatikale (*Steady State Heat Transfer + Linear Static*), soojusvahetus ja nõtkes (*Steady State Heat Transfer + Linear Buckling*). Lisaks sellele tuleb valida võrgu tüüp (*Mesh type*), näiteks tetraedraalne (*Tetrahedral*), pinnaline (*Surface*) või erinevatest detaili tüüpidest koosnev keha (*General Bodies*).

Create Study [X]

Study type: Linear Static [v] [OK] [Close]

Mesh type: Tetrahedral [v] [<< Options]

Advanced Options

☒ Iterative solver

☐ Large Displacement Solve

☒ Use multiple processors 4 [v]

Number of modes: 4 [v]

Frequency range: 0,000 Hz [v] [v]

Geometry check: On [v]

NX Nastran command line options:

[Thermal Load Options...] [NX Nastran Options...]

Connector Options

☐ Create connectors

☒ Single connection per face pair

Connector Type: Glue [v] [Properties...]

Results Options

☒ Generate only Surface results (faster)

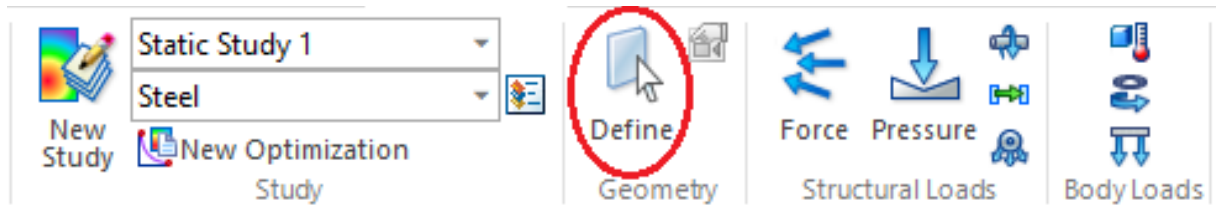
☒ Do not process all results after solve (faster)

☐ Ignore element quality

Nodal	Elemental
<input checked="" type="checkbox"/> Displacement	<input checked="" type="checkbox"/> Stress
<input type="checkbox"/> Applied load	<input type="checkbox"/> Strain
<input type="checkbox"/> Constraint force	<input type="checkbox"/> Force
<input type="checkbox"/> Temperature	<input type="checkbox"/> Strain energy
<input type="checkbox"/> Applied temperature	<input type="checkbox"/> Heat flux

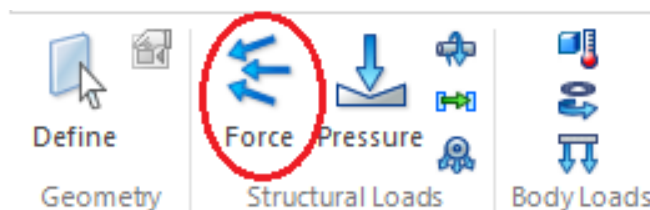
Joonis 1.3. Simulatsiooni loomine

Nüüd muutuvad aktiivseks erinevad nupud simulatsiooni keskkonnas ja arvutuse ettevalmistust võib jätkata.



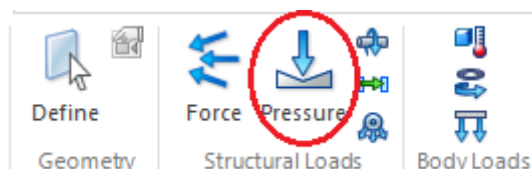
Joonis 1.4. Simulatsiooni menüü nupud

Joonisel 1.4 on kujutatud simulatsiooni menüü, kus on märgitud määratlema (*Define*) funktsioon, mis tähendab, et on vaja valida detailid, milliseid tuleb analüüsida.

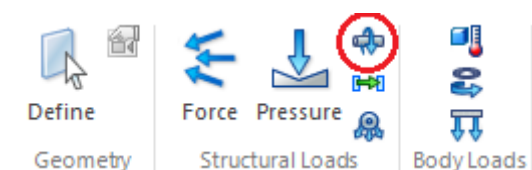


Joonis 1.5. Simulatsiooni menüüriba koormuste nupud

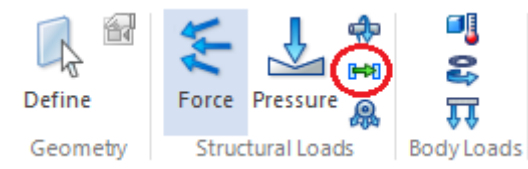
Edasi võiks määratamõjuvad koormused. Need on näidatud joonise 1.5 (*Structural loads*). Joonisel 1.5 on märgitud jõu (*Force*) nupp, mida võib kasutada detailil erinevates punktides, pinnal või serval. Samuti antud menüüs on võimalik valida survet (*Pressure*) (Joonis 1.6.), mis omab samasugused võimalused nagu jõu (*Force*) funktsioonis. On olemas ka väändemomendi (*Torque*) rakendamise nupp (Joonis 1.7.). Siirde (*Displacement*) nuppu (Joonis 1.8.) kasutatakse selleks, et rakendada koormust, mis oleks ekvivalentne määratud siirdele. Viimaseks on laagrisõlme (*Bearing*) funktsioon, millega saab määrata detailide vahelisi laagrisõlmi (Joonis 1.9.). [2]



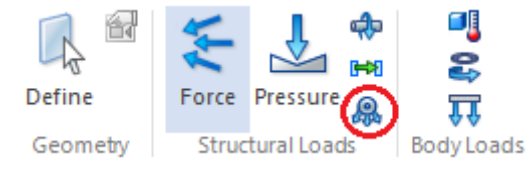
Joonis 1.6. Simulatsiooni menüüriba - struktuurne koormus koos surve nupuga



Joonis 1.7. Simulatsiooni menüüriba - struktuurne koormus koos väändemomendi nupuga

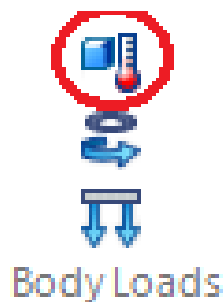


Joonis 1.8. Simulatsiooni menüüriba - struktuurne koormus koos nihutamise nupuga

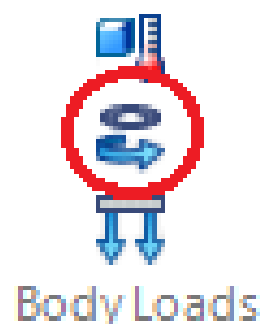


Joonis 1.9. Simulatsiooni menüüriba - struktuurne koormus koos silindrilise toe nupuga

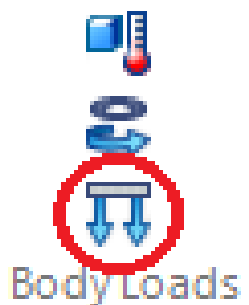
Edasi selles simulatsiooni menüüribas on keha koormuste (body loads) osa, kus on võimalik määrata kehatemperatuuri (*Body Temperature*) (Joonis 1.10.). Samuti tsentrifugaaljõududest tulenevat koormust (*Centrifugal*) (Joonis 1.11.), mis tekib siis, kui keha pöörleb. Viimaseks on raskusjõu määramise nupp (*Gravity*) (Joonis 1.12.), mida kasutatakse gravitatsiooni rakendamiseks valitud mudelis. [2]



Joonis 1.10. Simulatsiooni menüüriba - keha koormused koos kehatemperatuuri nupuga

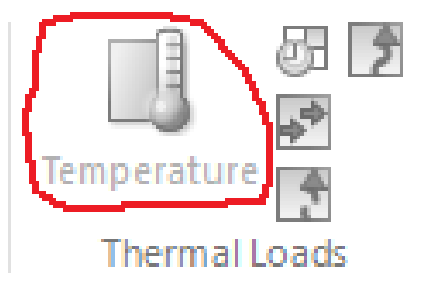


Joonis 1.11. Simulatsiooni menüüriba - keha koormused koos pöörlemiskoormuse nupuga

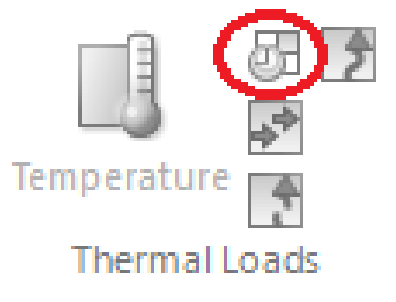


Joonis 1.12. Simulatsiooni menüüriba - keha koormused koos raskusjõu nupuga

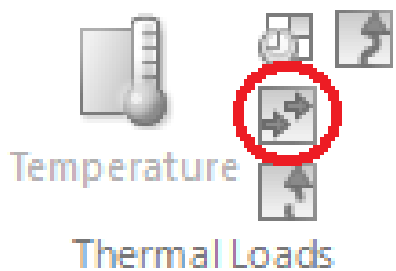
Simulatsioonis on veel erinevaid valikuid nagu temperatuuri koormused (*Thermal loads*). Temperatuuri koormused on vajalikud temperatuuride erinevuste arvutamiseks tasakaaluolekus, mille käigus mõjub pidevalt kindlaks määratud temperatuuri (*Temperature*) funktsioon (Joonis 1.13.). Edasi on soojusvoo koormus (*Heat Flux*) funktsioon (Joonis 1.14.), mis võimaldab arvutada soojusenergia ülekande kiirust ühiku kohta ($W \cdot m^{-2}$). Soojuse tekkimise (*Heat Generation*) funktsiooni (Joonis 1.15.) kasutatakse, et määrata soojusvõimsuse koormust, soojuse hajumist või soojusülekannet kõikidele kehade vahel. Konvektiooni (*Convection*) funktsioon (Joonis 1.16.) määrab soojusenergia vahetust, kui gaas või vedelik liiguvad ühest pinnast teisele või ümbritseva keskkonda temperatuuride vahe tõttu. Kiirguskoormus (*Radiation*) funktsioon (Joonis 1.17.) on soojusülekanne elektromagnetiline kiirgus, mille tõttu kiirguvad kehad või tasapinnad. Soojusülekanne toimub siis, kui detail kiirgab teisele pinnale või kokkupuutes kehaga ja imendub, kajastub või edastab teisele elemendile. [2]



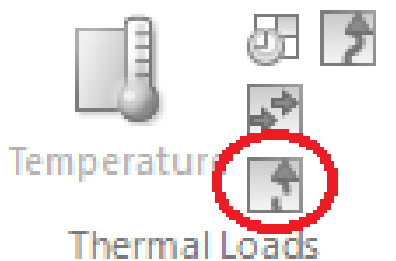
Joonis 1.13. Simulatsiooni menüüriba – keha temperatuuri koormused koos temperatuuri nupuga



Joonis 1.14. Simulatsiooni menüüriba – keha temperatuuri koormused koos soojusvoo nupuga



Joonis 1.15. Simulatsiooni menüüriba – keha temperatuuri koormused koos soojuse tekkimise nupuga



Joonis 1.16. Simulatsiooni menüüriba – keha temperatuuri koormused koos konventsiooni nupuga

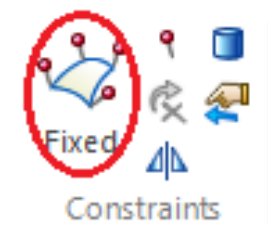


Joonis 1.17. Simulatsiooni menüüriba – keha temperatuuri koormused koos kiirguse nupuga

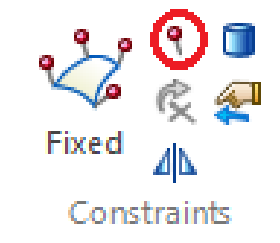
Sidemed (*Constraints*) neid kasutatakse, et piirata erinevaid liikumisi koostu korral erinevate detailide vahel. Nendeks võivad olla: detaili täielik kinnitamise (*Fixed*) side (Joonis 1.18.); osaliselt liikumise keelu (*Pinned*) side (Joonis 1.19.); pöörlemise keelu (*No Rotation*) side

(Joonis 1.20.); libisemise mööda pinda (*Sliding Along Surface*) side (Joonis 1.21.); silindriline (*Cylindrical*) side (Joonis 1.22.); kasutaja poolt määratletud (*User-Defined*) side (Joonis 1.23.). Fikseerimise side võimaldab kinnitada kõik kuus keha liikumise vabaduseastet. Osaliselt liikumise keeld (*Pinned*) on piirang, mis välistab kolm libisemise vabaduseastet ning jätab alles kolm pöördumise vabaduseastet. Pöörlemise keeldu (*No Rotation*) piirang eemaldab kolm pöörlemise vabaduseastet ja jätab alles kolm libisemise liikumist. Libisemist mööda pinda kasutatakse, siis kui pinnad peavad olema kontaktis, kuid võivad üksteise suhtes libiseda. Silindriline piirang keelab silindrilise kehade kontakti korral pöörlemise ümber telje või libisemise pikki telge. Kasutaja määratletud piirang pakub vabaduse astmete paindlikku määramist, kasutades ristkülikukujulist koordinaatsüsteemi.

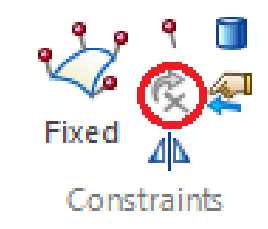
[2]



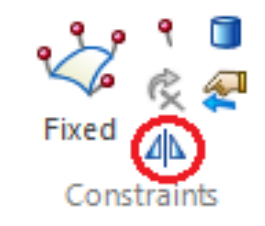
Joonis 1.18. Solid Edge Simulatsiooni menüüriba – sidemed fikseerimise nupuga



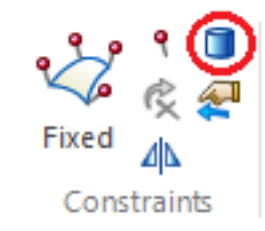
Joonis 1.19. Solid Edge Simulatsiooni menüüriba – sidemed liikumise keelu nupuga



Joonis 1.20. Solid Edge Simulatsiooni menüüriba – sidemed pöörlemise keelu nupuga



Joonis 1.21. Solid Edge Simulatsioonimenuüriba – sidemed libisemise mööda pinna nupuga



Joonis 1.22. Solid Edge Simulatsioonimenuüriba – sidemed silindrilise nupuga



Joonis 1.23. Solid Edge Simulatsioonimenuüriba – sidemed kasutaja määratletu nupuga

Võrgu määratlemiseks ning genereerimiseks kasutatakse võrgu (Mesh) käsku (Joonis 1.24.). Pärast esialgse võrgu loomist on võimalik parandada võrku parameetrite järgi: muutes elementide tihedust või võrgu kuju. Parandada võrku saab käskudega serva suurus (*Edge Size*) (Joonis 1.25.), pinna suurus (*Surface Size*) (Joonis 1.26.) või keha suuruse (*Body Size*) nupu abil. (Joonis 1.27.). [2]



Joonis 1.24. Solid Edge Simulatsioonimenuü – võrk, automaatse funktsiooniga



Joonis 1.25. Solid Edge Simulatsioonimenuü – võrk, serva suuruse funktsiooniga



Joonis 1.26. Solid Edge Simulatsiooni menüü – võrk, pinna suuruse funktsiooniga

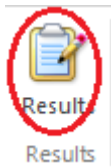


Joonis 1.27. Solid Edge Simulatsiooni menüü – võrk, keha suuruse funktsiooniga

Käsku *Solve* on vaja analüüsi teostamiseks (Joonis 1.28.).



Joonis 1.28. Solid Edge Simulatsiooni arvutamise funktsioon

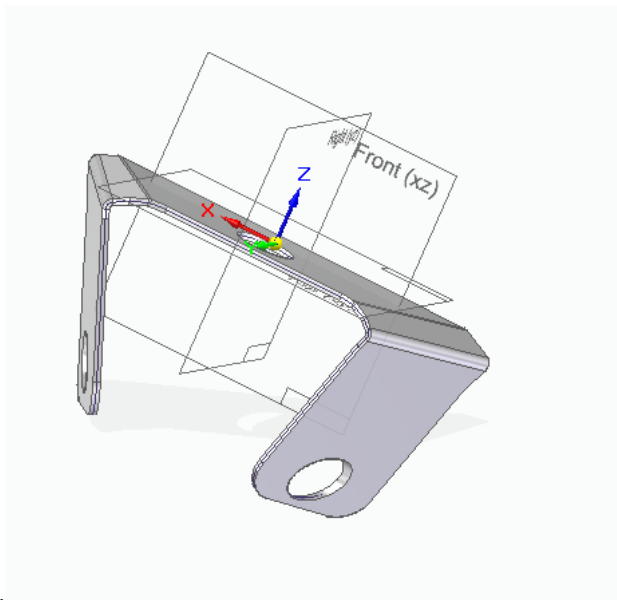


Joonis 1.29. Solid Edge Simulatsiooni menüü tulemuse nupp

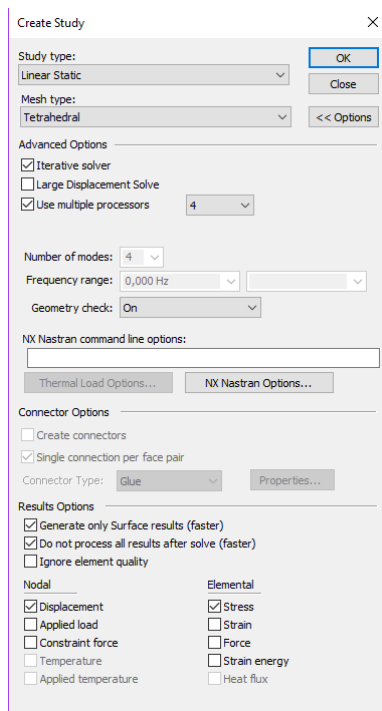
3.SOLID EDGE SIMULATIOON

3.1 Arvutus staatilistele jõududele

Antud juhul tehakse seda lehtmetall detaili näitel. Alguse tuleb avade detail (Joonis 3.1), siis valida materjal ja alustada uut arvutust (New Study). Järgmiseks valida (*Study type – Linear static*), (*Mesh type – Tetrahedral*) (Joonis 3.2).

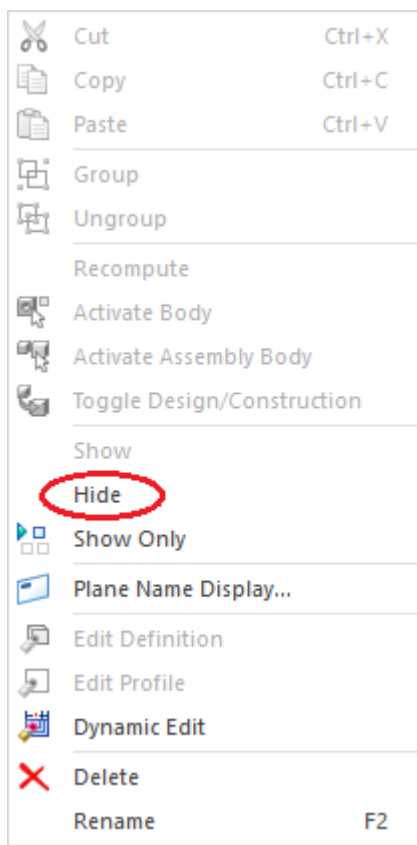


Joonis 3.1. Lehtmetall detail

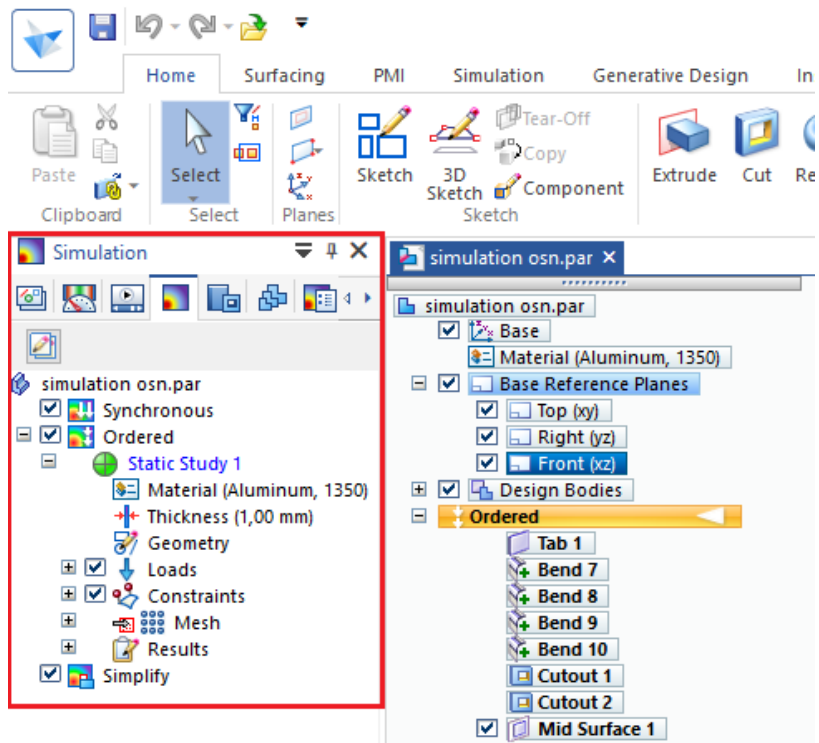


Joonis 3.2. Lehtmetalli detaili simulatsiooni alustus

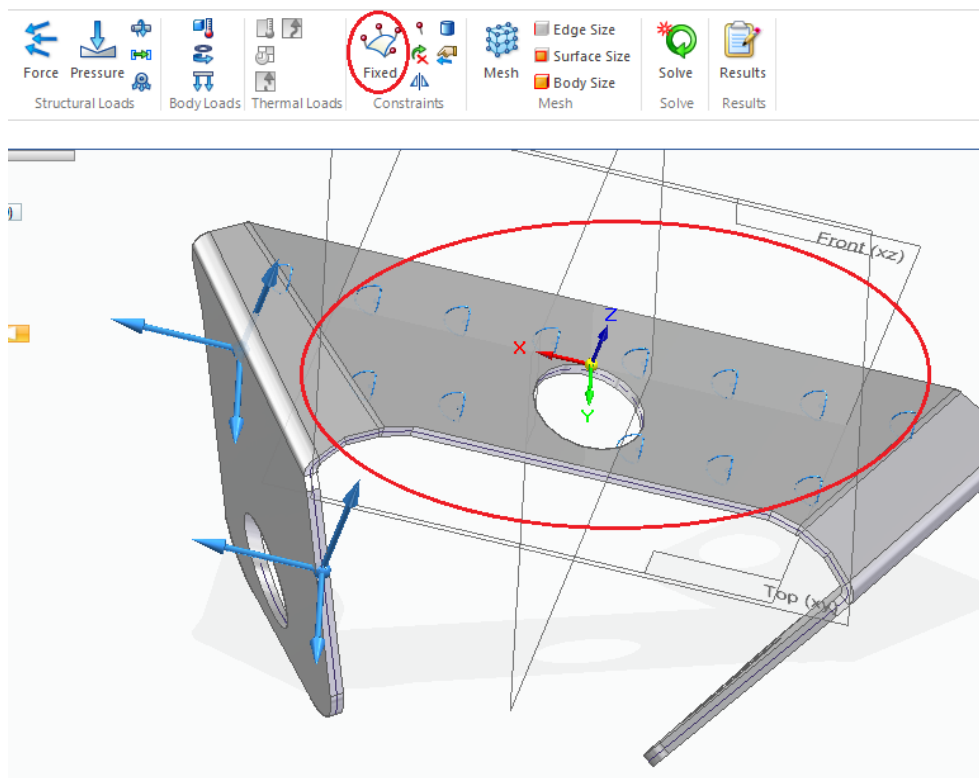
Nüüd detail on valmis LEM arvutuse tegemiseks. Lehtmetall detailide korral tuleb kasutada keskpinna (*Mid-Surface*). Kui keskpind on määratud, siis on kasulik peita detaili ülejäänud pind (Joonis 3.3.), näha jääb keskpind (*Mid-Surface*). Nüüd võib hakata rakendama jõude, mis mõjuvad kehale. Kõik simulatsioonis tehtu kajastub simulatsioonipuus (Joonis 3.4.). Järgnevalt on vaja kinnitada detaili ülaosa (joonis 3.5) ning valida pöörlemise keeld (Joonis 3.6.). Seejärel tuleb määrata jõud ja asetada need avade äärtele (Joonis 3.7). Nüüd võib valida automaatse elementide võrgu režiimi (Joonis 3.8) ja teha arvutused. Saadud tulemuste põhjal (Joonis 3.9) on näha, kuidas käesolev detail deformeerub. Pingete/siirete kuvamise stiili saab valida (*Contour Style*) (Joonis 3.10.). Samuti võimalik teha animatsiooni, et näha, kuidas toimub deformatsioon (Joonis 3.11.).



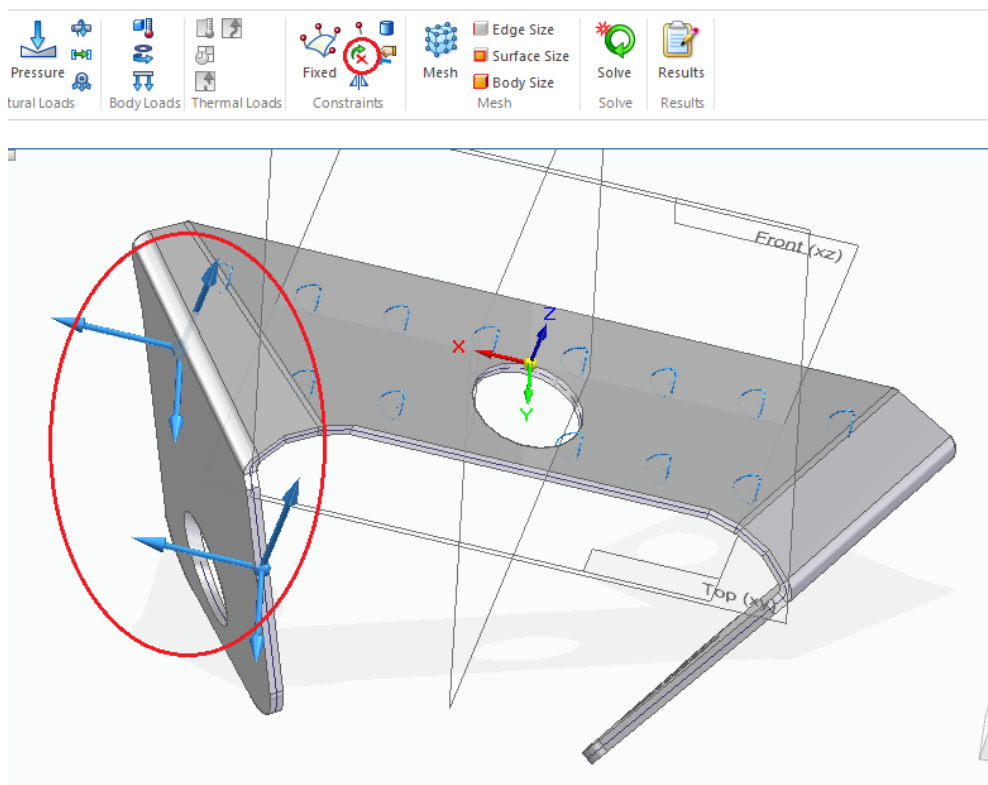
Joonis 3.3. Solid Edge menüü, pärast hiire paremklahvi vajutamist



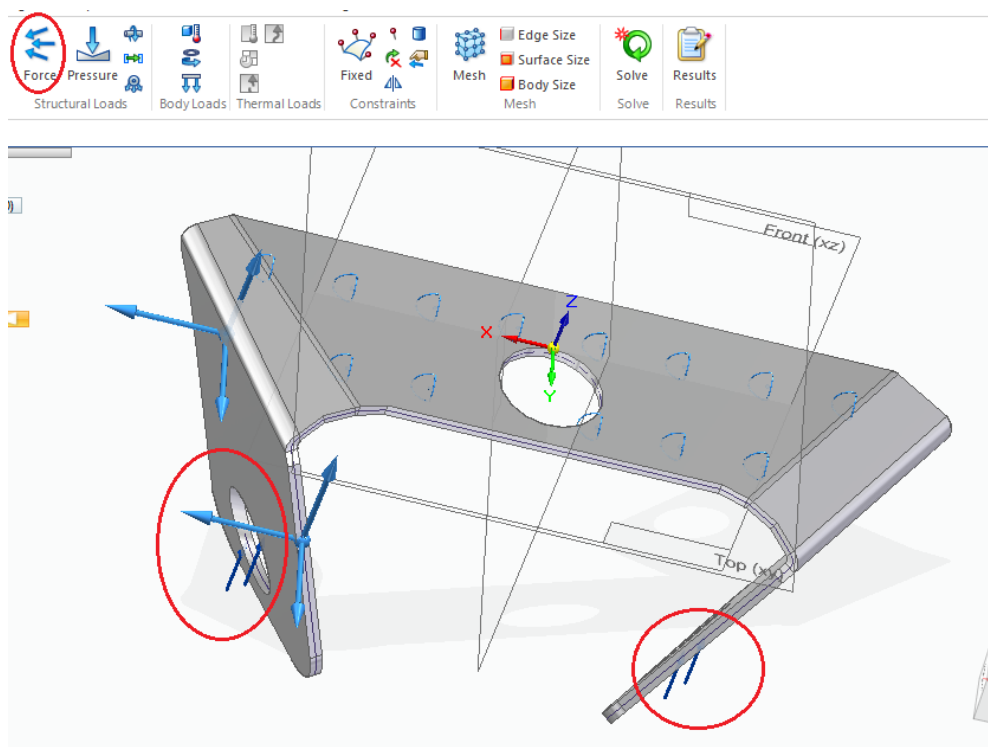
Joonis 3.4. Simulatsioonipuu



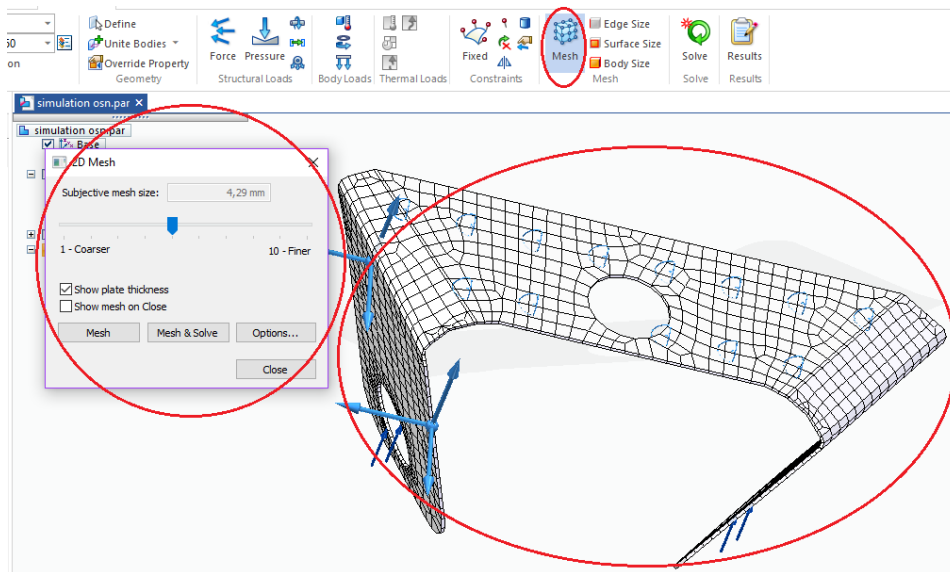
Joonis 3.5. Solid Edge Simulatsiooni detaili ülaosa kinnitamine



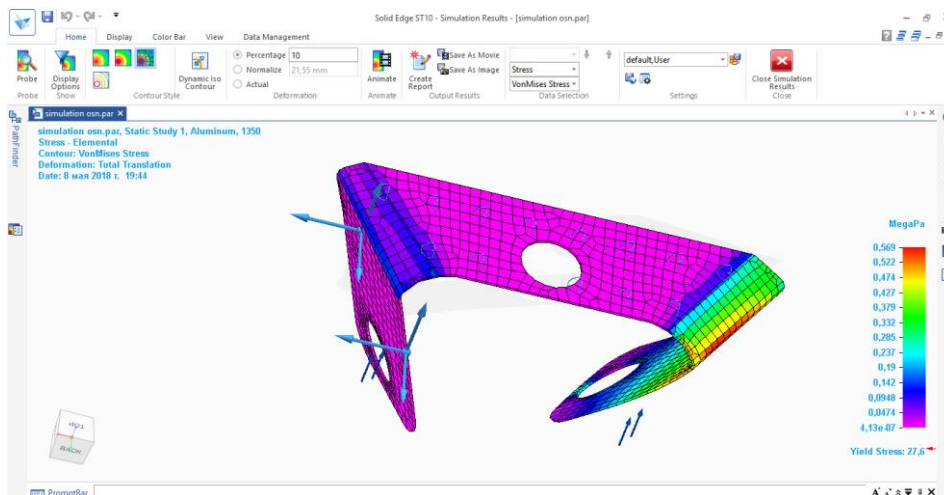
Joonis 3.6. Solid Edge Simulatsiooni pöörlemise keeld



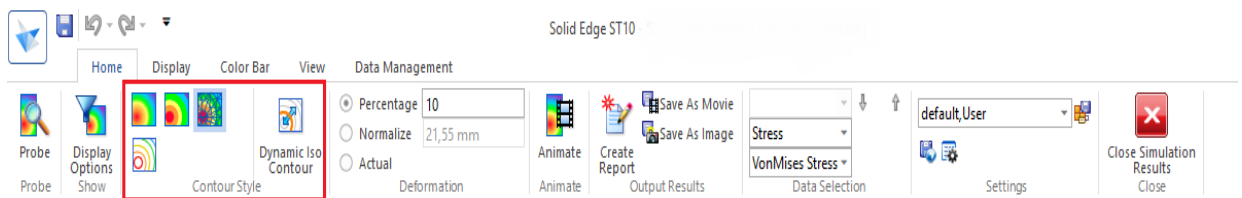
Joonis 3.7. Solid Edge Simulatsiooni jõu määramine



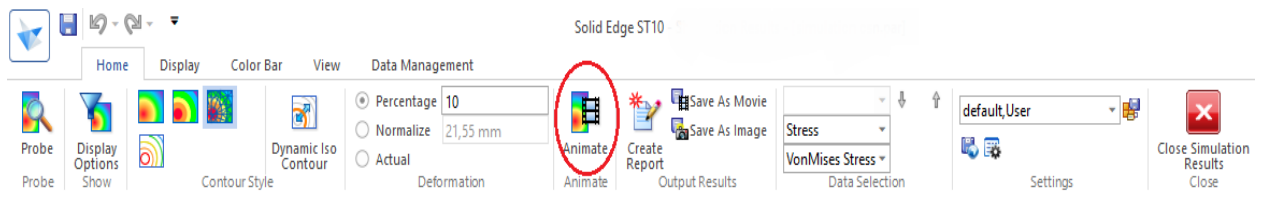
Joonis 3.8. Solid Edge Simulatsioon võrgu valimine



Joonis 3.9. Solid Edge Simulatsiooni tulemused

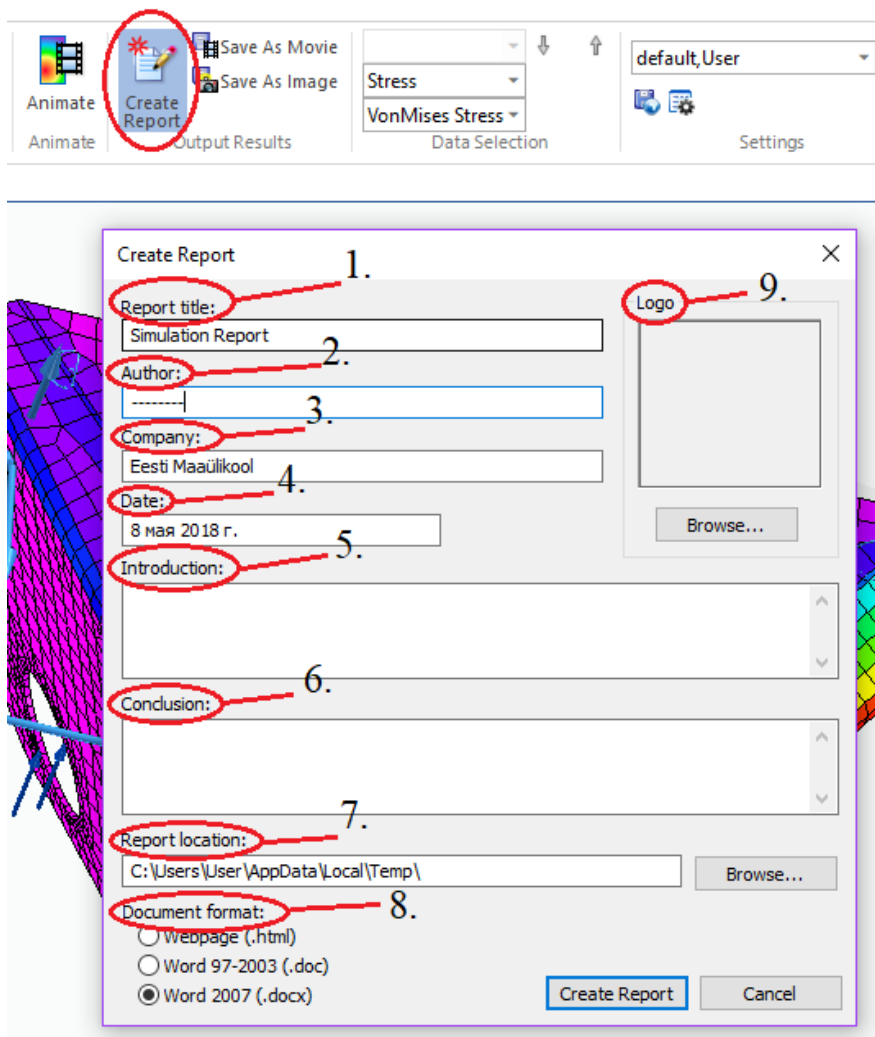


Joonis 3.10. Solid Edge Simulatsiooni kontuuri stiilid

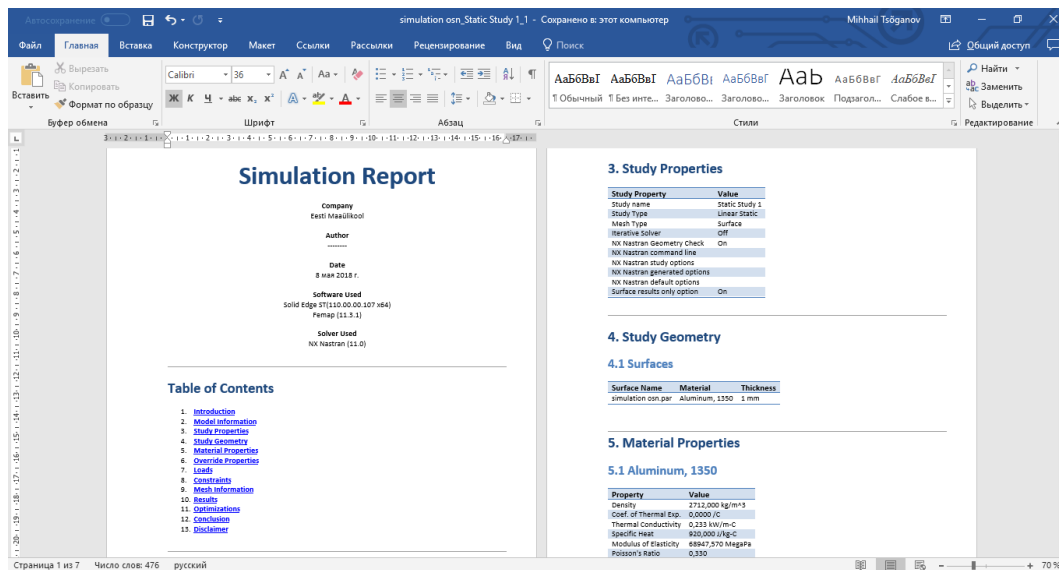


Joonis 3.11. Solid Edge Simulatsiooni animatsioon

Solid Edge programm võimaldab luua aruandeid (Joonis 3.12.). Aruande loomise alguse täidetud lahtrid (joonis 3.12.) kuvatakse aruandes (Joonis 3.13.). Aruannet on võimalik salvestada erinevates formaatides ja kujundada oma stiiliga.

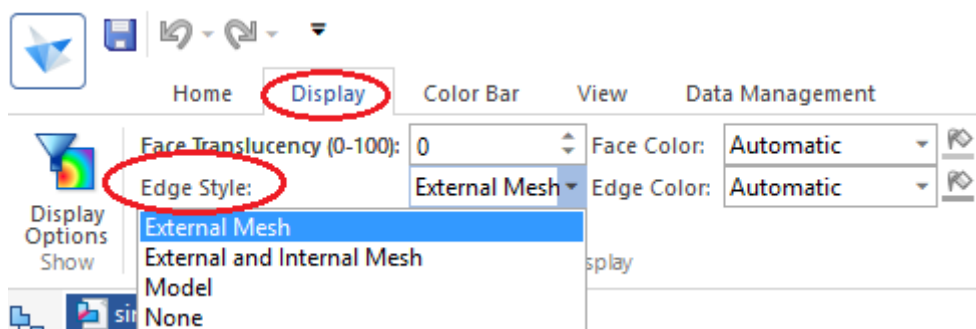


Joonis 3.12. Solid Edge Simulatsiooni aruande aken: 1 – aruande nimetus; 2 – aruande koostaja; 3 – koht, kus tehakse käesolevat aruannet; 4 – aeg, millal oli tehtud aruanne; 5 – eessõna; 6 – kokkuvõte; 7 – aruande asukoht; 8 – faili formaat; 9 – logotüüp

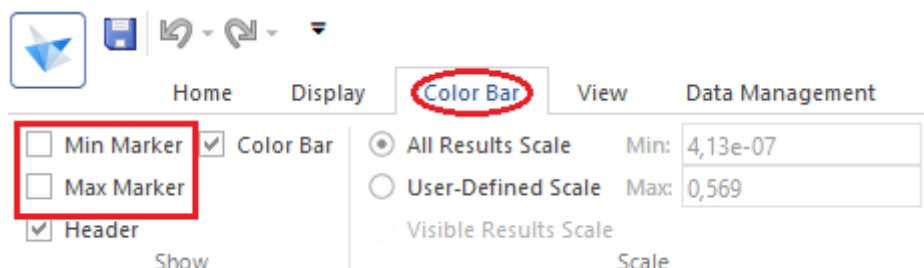


Joonis 3.13. Solid Edge Simulatsiooni valmis aruanne

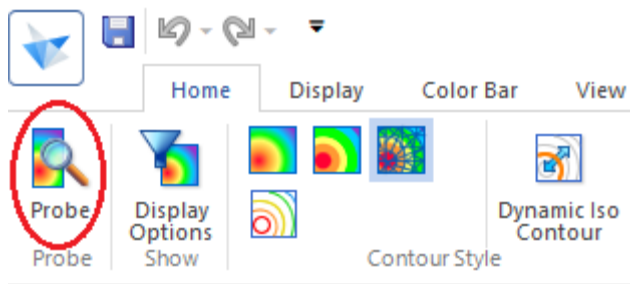
Samuti saab peita ja kuvada LEM võrku või detaili ning näidata võrgu vahekaardil kuva (*Display*) funktsiooni abil (Joonis 3.14.). Lisaks sellele on võimalus tuua välja maksimaalsed ja minimaalsed väärtused värviriba (*ColorBar*) funktsiooniga (Joonis 3.15.). Detaili uurimise võtmiseks on vaja kasutada anduri (*Probe*) funktsiooni (Joonis 3.16.). [2]



Joonis 3.14. Solid Edge Simulatsiooni Edge stiil



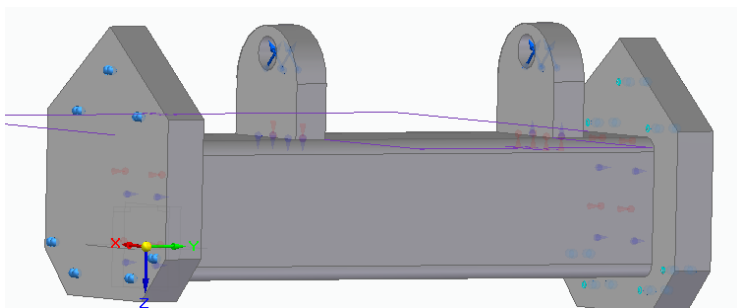
Joonis 3.15. Solid Edge Simulatsiooni minimaalsed ja maksimaalsed punktid



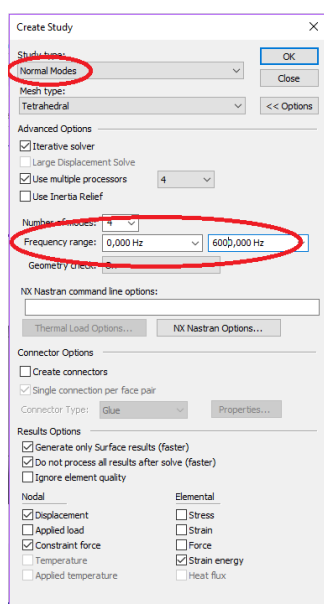
Joonis 3.16. Solid Edge Simulatsiooni uurimise funktsioon

3.2 Võnkumiste arvutus

Antud juhul tehakse näide koostu detaili abil. Tuleb alustada koostatud detaili valimisest (Joonis 3.17.), valida materjal ja alustad uut simulatsiooni. Nüüd on vaja vajutada uue arvutuse (*New Study*) nuppu ning valida uurimise tüüpi (Study type – Normal Modes), (Mesh type – Tetrahedral) ja defineerida sageduse (Frequency) väärtust 0 (Hz) kuni 6000 (Hz) (Joonis 3.18.).

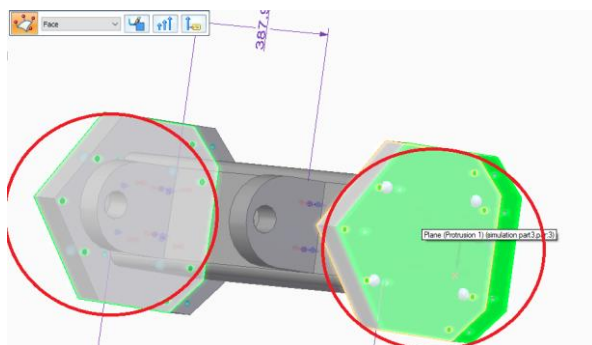


Joonis 3.17. Detail

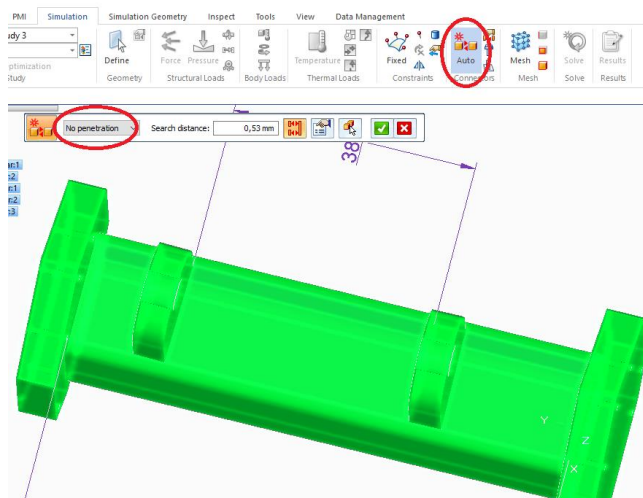


Joonis 3.18. Koostatud detaili simulatsiooni alustus

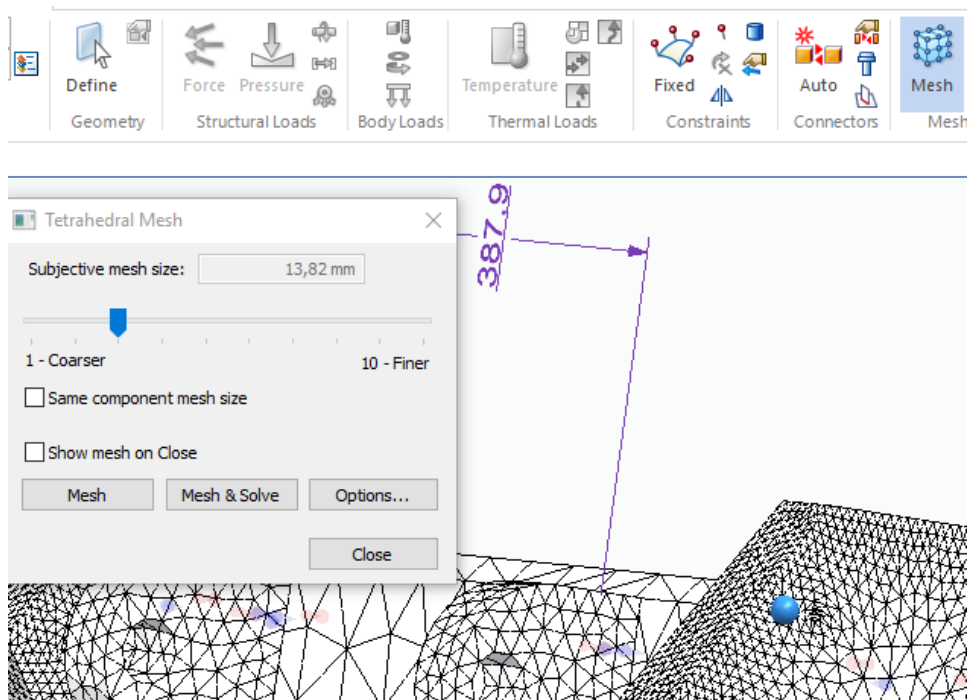
Tuleb valida keskpinna (*Mid-Surface*) funktsioon ja valida kõik detailid. Nüüd fikseerida pinnad, kuhu käesolev detail kinnitub. Järgmiseks saab vajutada fikseerimise (*Fixed*) nuppu ja valida avad nagu joonisel 3.19. Detailide kinnitamiseks on vajalik vajutada (*Auto*) menüüs (*Connector*), ning valida detailid, mille vahel tuleb koostada kinnitused, ja valida ilma läbistamiseta (*No Penetration*) kinnitamise tüüpi (Joonis 3.20.). Nüüd saab valida võrgu, valida automaatse tüüpi (Joonis 3.21.) ning viimaseks on võimalik teha arvutusi (Joonis 3.22.).



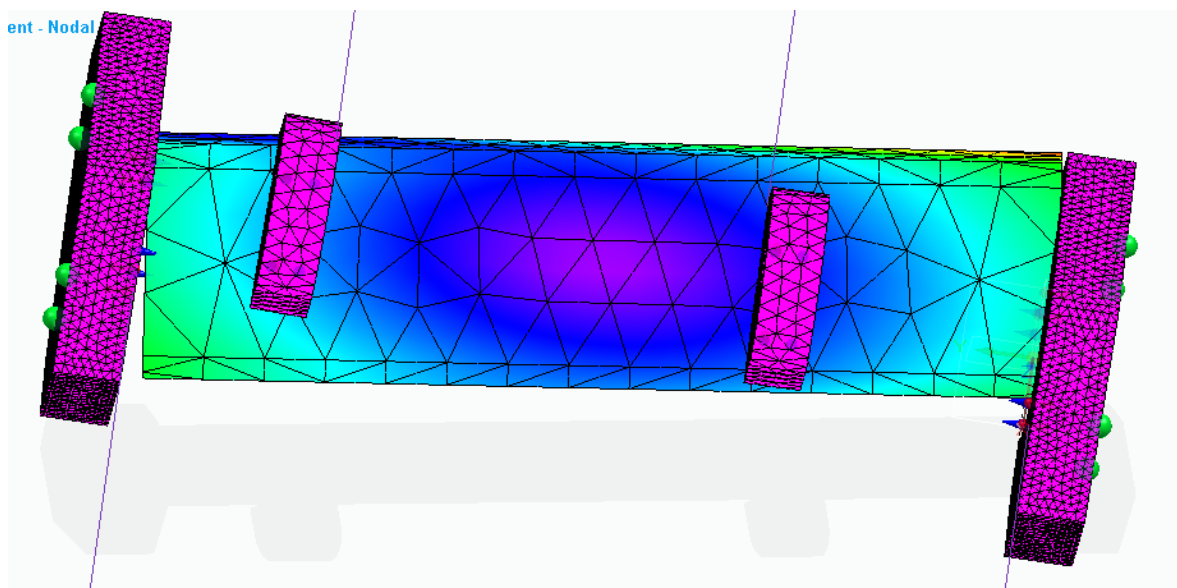
Joonis 3.19. Detaili fikseerimine



Joonis 3.20. Detaili kinnitamine



Joonis 3.21. Solid Edge Simulatsiooni võrgu kasutamine

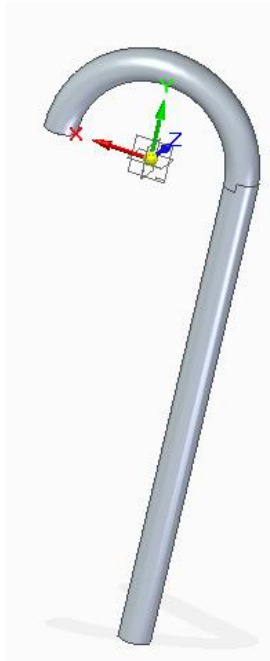


Joonis 3.22. Võnkumise arvutuse tulemus

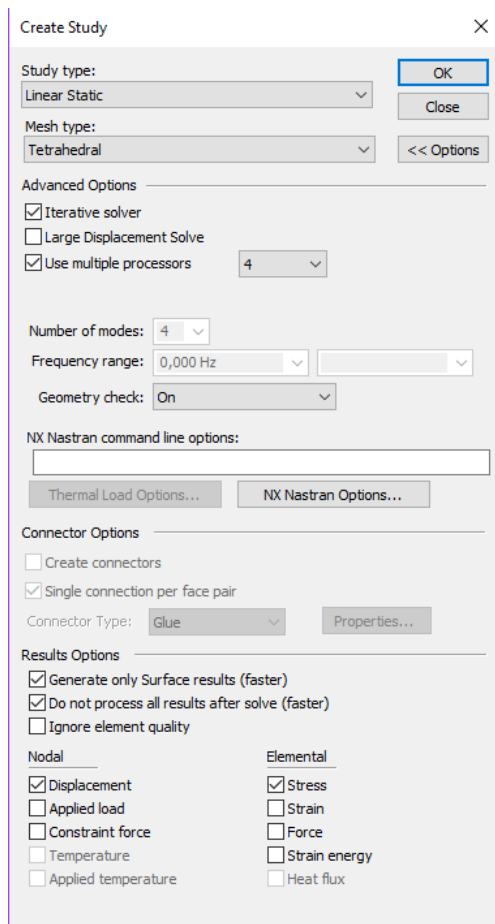
3.3 Nõtkte arvutus

Alguseks peab valima detaili (Joonis 3.23.), materjali ja teha uut simulatsiooni. Järgmiseks valida (*Study type – Linear static, Mesh type – Tetrahedral*) (Joonis 3.24.) Nüüd on vaja rakendada mõjuvad jõud, vajutada jõu (Force) nuppu ning valida pind nagu joonisel 3.25.

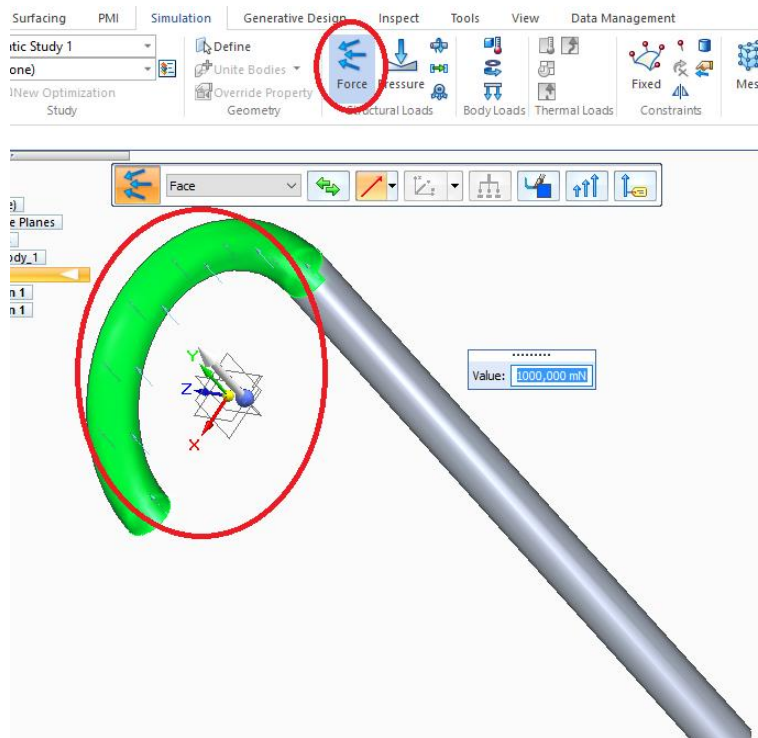
Siis saab fikseerida ülemise osa nagu joonisel 3.26. Viimaseks tuleb luua võrk, valida automaatne tüüp (Joonis 3.27.) ning siis on võimalik teha arvutusi (Joonis 3.28.).



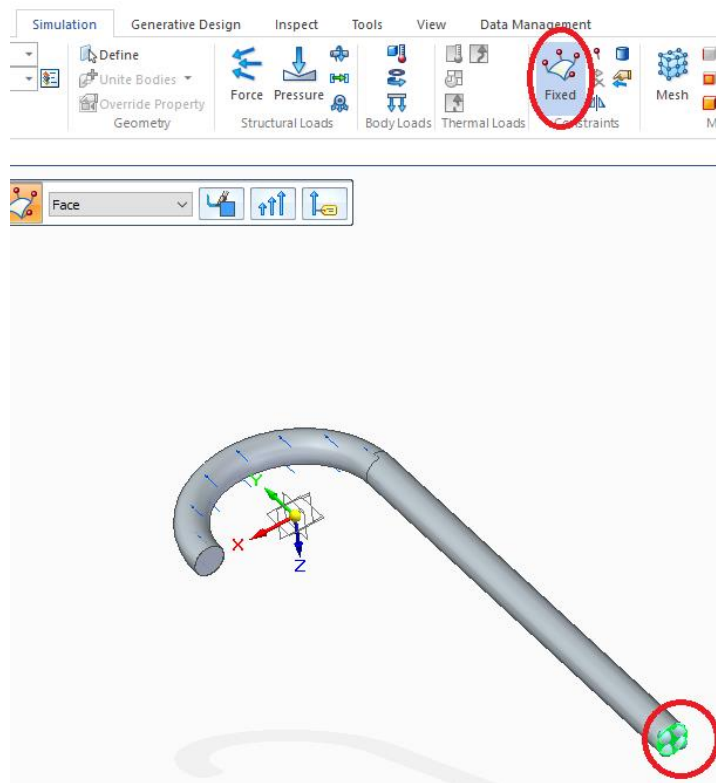
Joonis 3.23. Detail



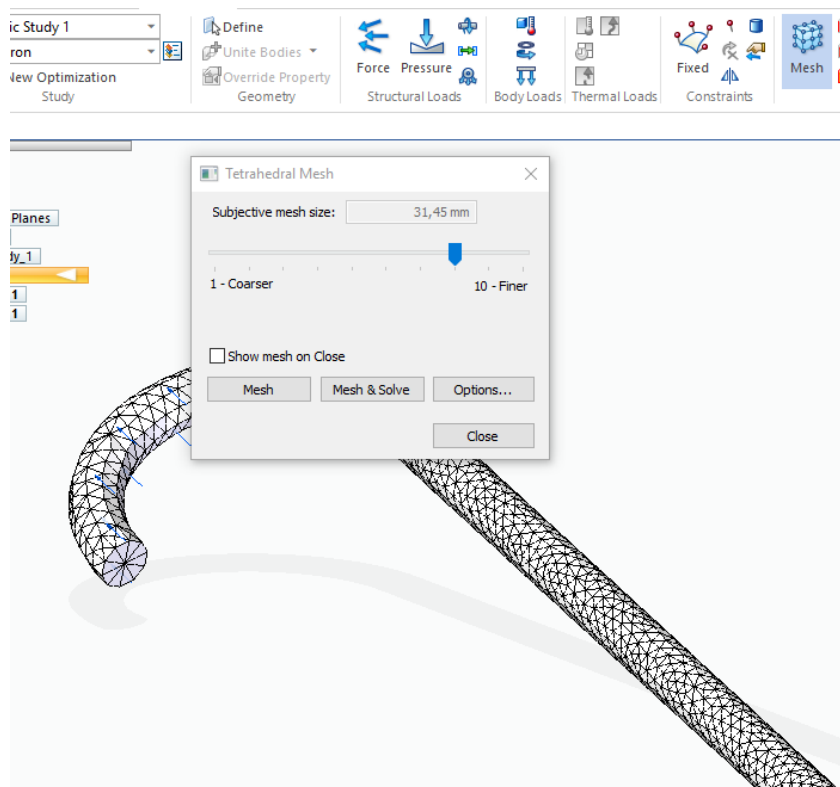
Joonis 3.24. Detaili simulatsiooni alustus



Joonis 3.25. Solid Edge Simulatsiooni jõu kasutamine



Joonis 3.26. Solid Edge Simulatsioon detaili kinnitamine



Joonis 3.27. Solid Edge Simulatsiooni võrgu rakendamine



Joonis 3.28. Nõtkke arvutuse tulemus

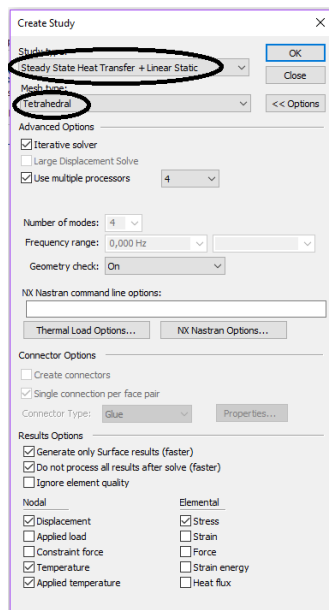
3.4. Soojusarvutus

Esialgselt tuleb valida detaili (Joonis 3.29.) ja alustada simulatsiooni tegemist. Siis saab vajutada uue uurimise (New Study) nuppu ning valida õpetüüpi - (Steady State Heat Transfer + Linear Static) ja (Tetrahedral) võrgu (Joonis 3.30.). Nüüd on võimalik fikseerida (Fixed)

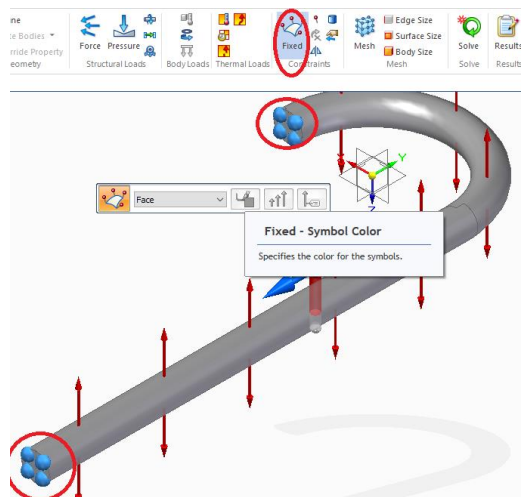
nuppu abil nagu joonisel 3.31 ning siis kasutada gravitatsiooni jõu (Gravity) funktsiooni (Joonis 3.32.). Järgmiseks tuleb valida temperatuuri (Temperature) funktsiooni ning valida pinda, millele mõjub käesolev temperatuur (Joonis 3.33.). Nüüd saab valida konvektsiooni (Convection) funktsiooni ja pinnad, kus toimub soojuse konvektsioon (Joonis 3.34.). Viimaseks tuleb rakendada võrgu (Joonis 3.35.), arvutada ja vaadata tulemusi (Joonis 3.36.).



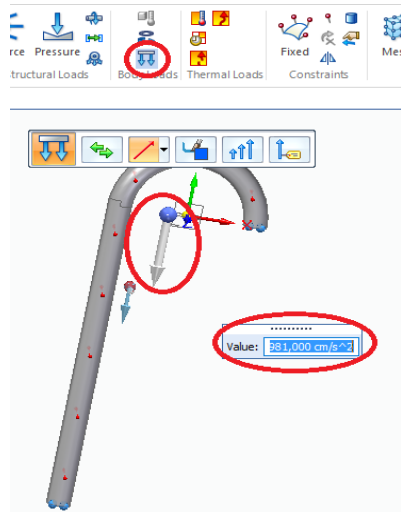
Joonis 3.29. Detail



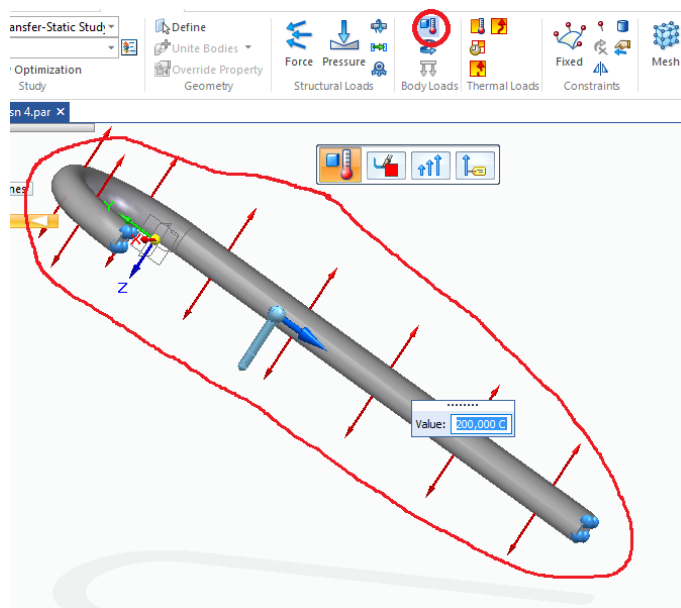
Joonis 3.30. Simulatsiooni häälestus



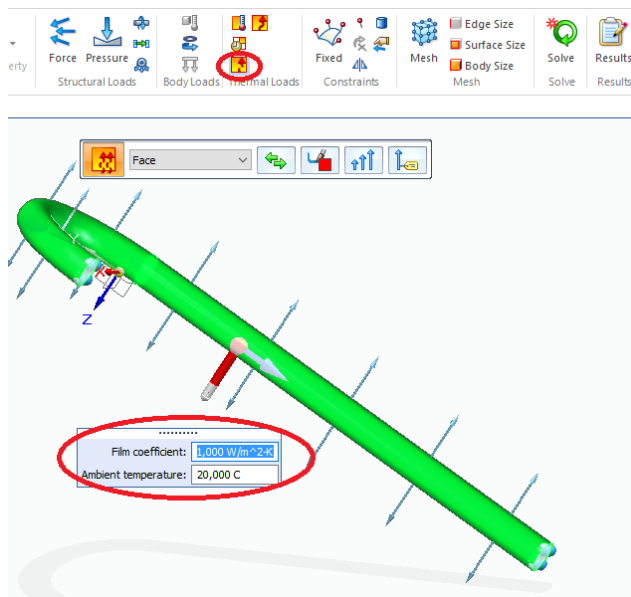
Joonis 3.31. Detail koos fikseeritud pindadega



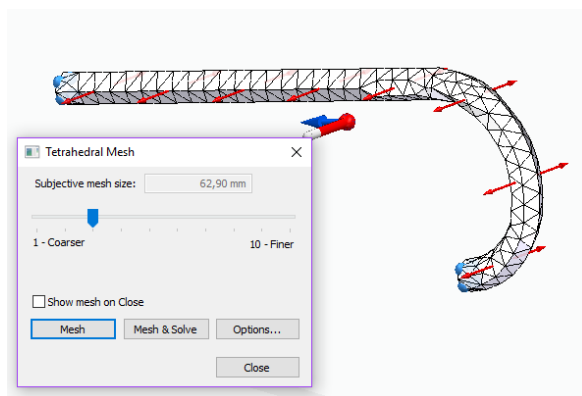
Joonis 3.32. Detail koos temperatuuriga



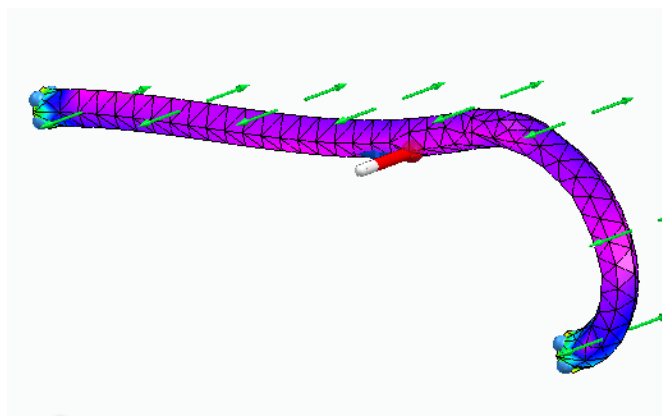
Joonis 3.33. Detail koos temperatuuri funktsiooniga



Joonis 3.34. Detail koos kasutatud temperatuuri konveksiooni funktsiooniga



Joonis 3.35. Solid Edge Simulatsioon võrgu rakendamine



Joonis 3.36. Soojusarvutuse tulemus

KOKKUVÕTE

Solid Edge Simulatsioon on laialdase kasutusvõimalusega programm, mida kasutatakse erinevates tootmisettevõtetes ja inseneribüroodes üle Eesti ning ka paljudes kõrgkoolides. Puuduseks on aga see, et programmis puudub eestikeelne juhend. Antud töö eesmärgiks oli käesoleva programmi eesti keelse juhendi loomine, et oleks võimalik edaspidi lahendada ülesandeid *Solid Edge* Simulatsiooni keskkonnas kasutades seda tööd.

Käesoleva lõputööga loodi õppematerjal tarkvara *Solid Edge* Simulatsiooni jaoks. Autori arvates, töö sobib õppematerjalina Eesti Maaülikoolis õppijate jaoks ning samuti saab selle tööd kasutada e-õppe vormina, kuna töö lisades on olemas 2 harjutusülesannet, mis vastaksid õppeaine mahule. Lisaks sellele on tehtud videolõigud ülesannetest, mille väljundiks oli mudel, mis on välja toodud töös kasutatud kirjanduse loetelus.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Модуль Solid Edge Simulation. [veebileht]
https://www.plm.automation.siemens.com/ru/products/solid-edge/overview/add_on_apps/simulation.shtml (20.04.2018)
2. Rao, S.S. The Finite Element Method in Engineering, Fifth Edition. 2010, 707 lk.
3. Simulation using surfaces. Solid Edge help. [veebileht]
https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/se/110/se_help#uid:xid1129777:xid1325275:index_sesim:analyze1p:xid280716:load4a (20.04.2018)
4. Tsõganov.M. (2018) Solid Edge Simulation Koostud. [veebileht]
https://www.youtube.com/edit?o=U&video_id=i9tBK9YZjbY (14.05.2018)
5. Tsõganov.M. (2018) Solid Edge soojus simulatsioon. [veebileht]
<https://www.youtube.com/watch?v=0zN-qGn4gR8> (15.05.2018)

SOLID EDGE FEM FOR INDEPENDENT STUDY

Summary

Solid Edge Simulation - the widespread program used by many manufacturing companies and the engineering companies across Estonia and in higher educational institutions. Instructions for the program is written in foreign languages.

This work is made as the textbook according to the software of Solid Edge Simulation. According to the author of article, the training material created by the Estonian university of life science about life will be useful as a training material to the subject "Theory of Design of III" or to transmission of a subject of the form of e-learning as 2 additional tasks will envelop subject volume. Besides, creation of video clips was created with tasks which output was real model and is specified in the list of the references used in operation.

Lisad

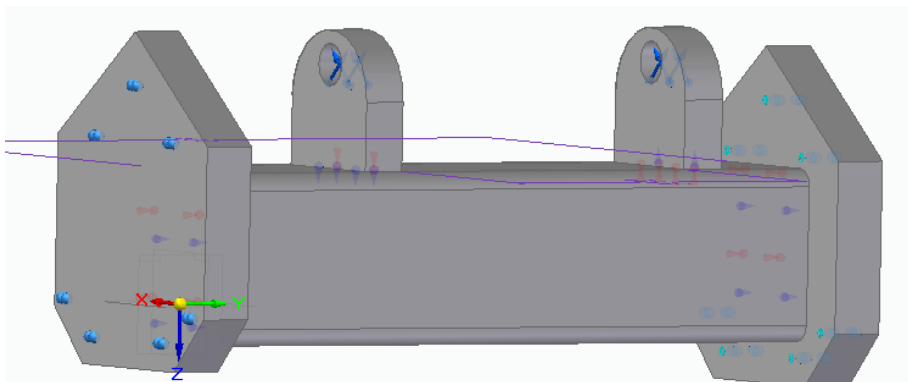
Lisa A. Ülesanne 1 – Solid Edge Simulatsioon koostatud detail.

Ülesande eesmärk: Anda kasutajale ülevaade koostude detaile simulatsiooni tegemisest.

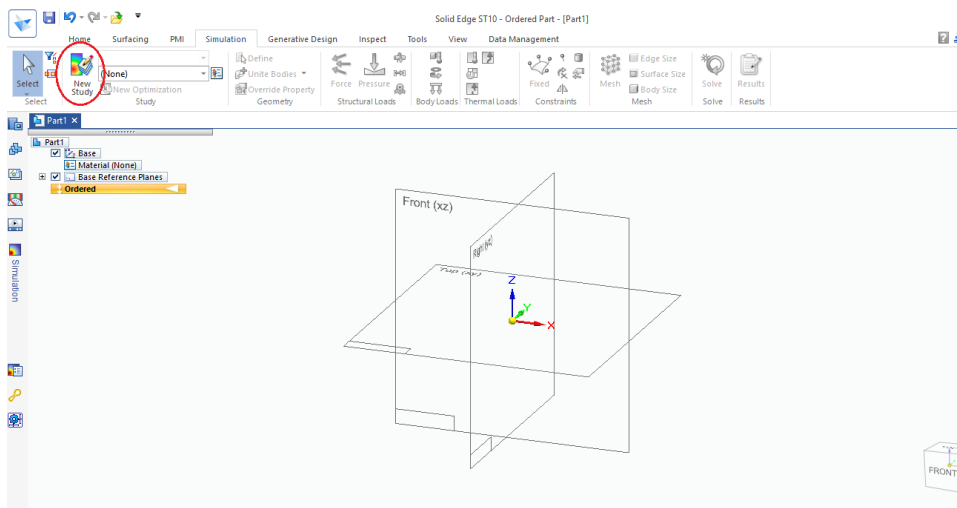
Pärast ülesande lahendamist peaks kasutaja oskama:

1. Kinnitada detaile omavahel;
2. Kasutada silindriline jõud;
3. Teha simulatsiooni.

Esialgselt tuleb avada Solid Edge programmi koos tehtud detailiga. Valida simulatsiooni ja vajutada *New Study* nuppu, ning valida *Linear Static* ja *Tetrahedral* võrgu.

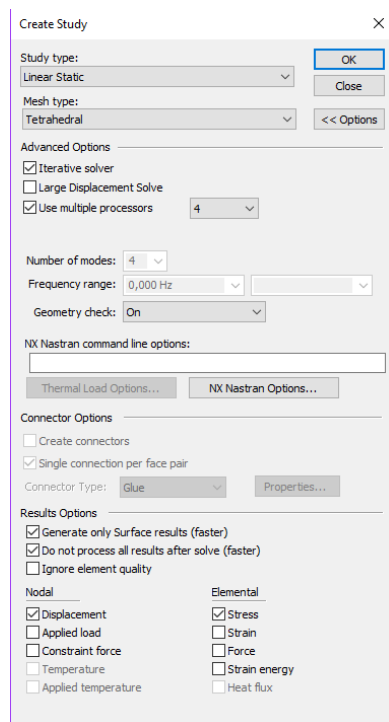


Joonis A.1. Detail



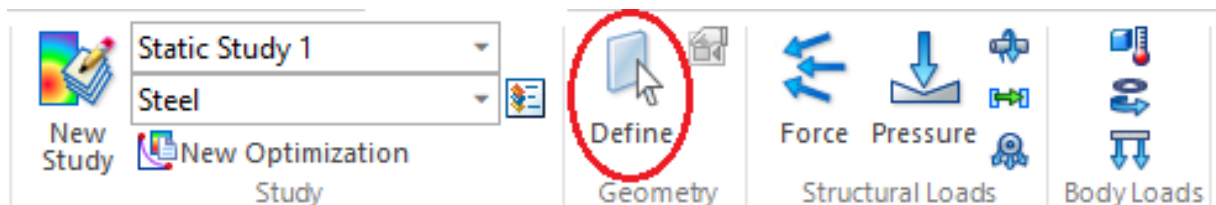
Joonis A.2. Simulatsiooni valimine

Lisa A järg



Joonis A.3. Simulatsiooni häälestus

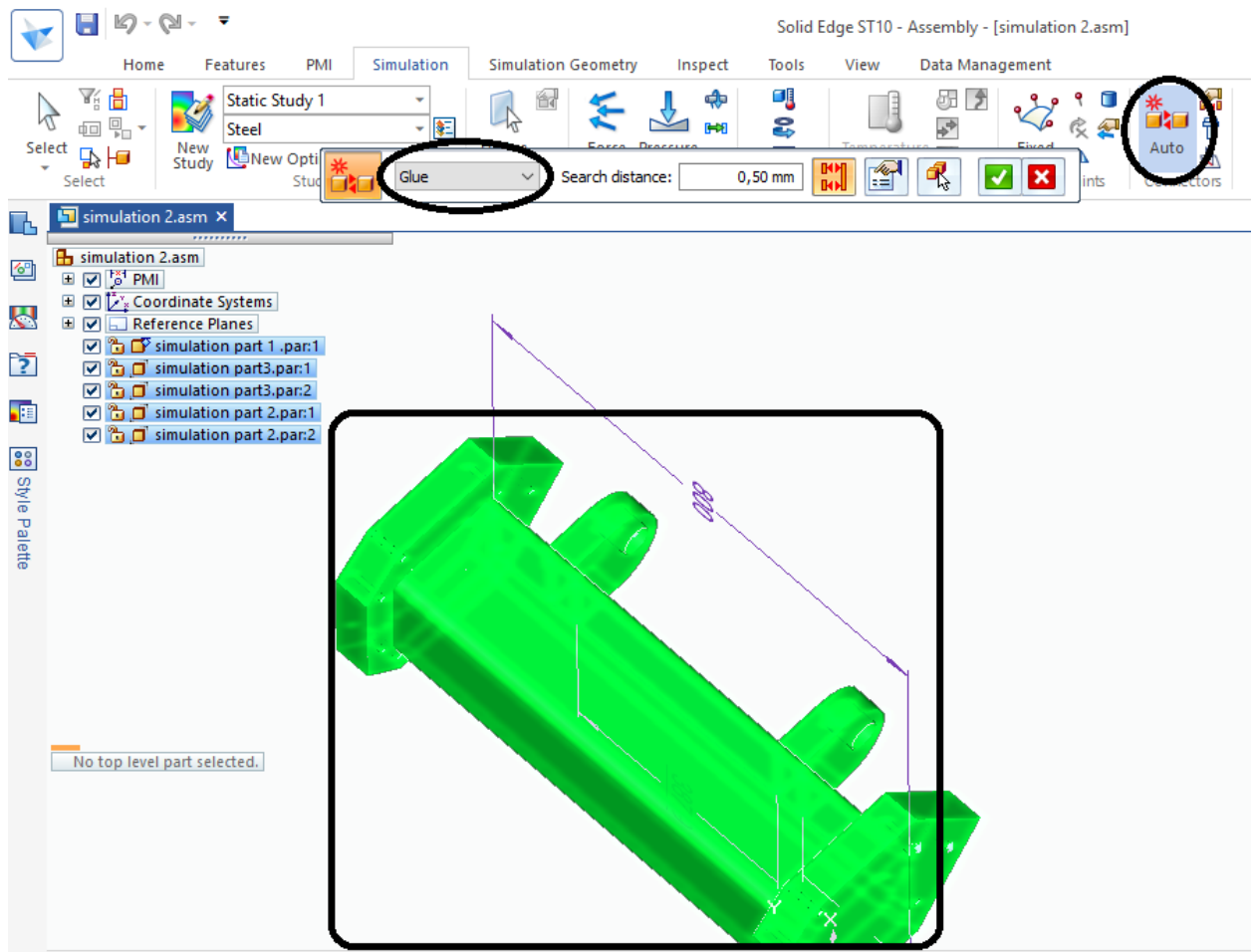
Nüüd tuleb vajutada *Define*, et defineerida detaili pinna..



Joonis A.4. Simulatsiooni defineerimine

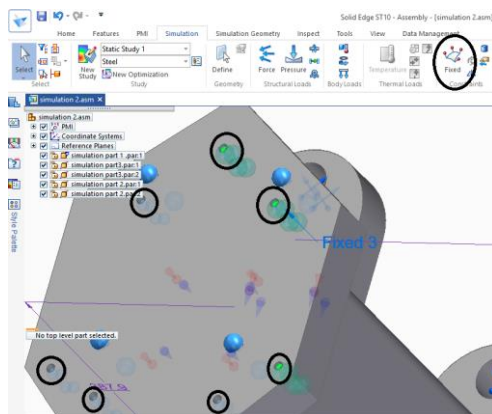
Siis on vaja kinnitada detailid, vajutada *Auto* menüüs *Connector* nuppu ja valida detailid, mille vahel tuleb koostada kinnitused ning valida kinnitamise tüüpi *Glue*.

Lisa A järg



Joonis A.5. Detaili kinnitamine

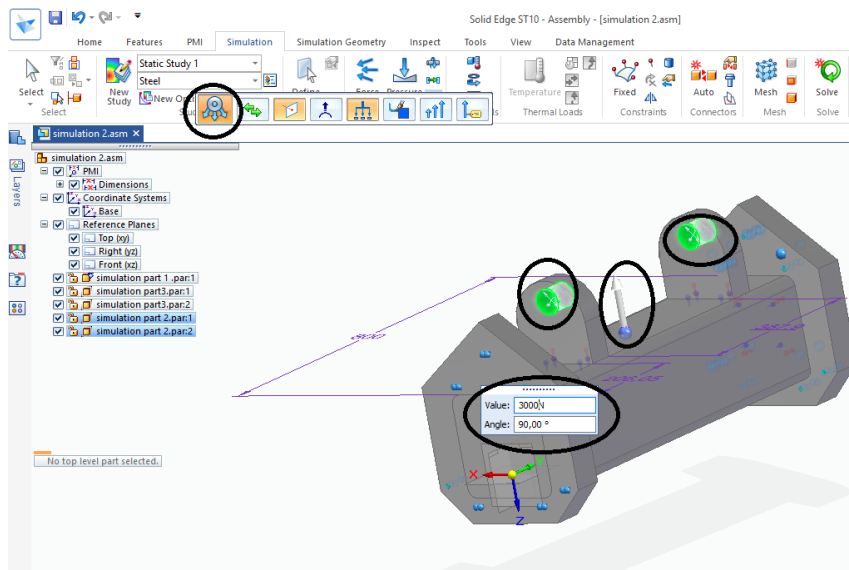
Nüüd fikseerida avad, kuhu see detail kinnitub. Vajutada *Fixed* nuppu ja valida avad nagu joonisel A.6.



Joonis A.6. Fikseerimise avad

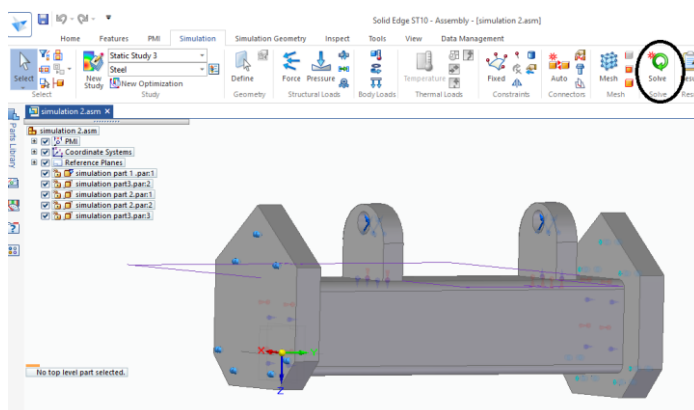
Lisa A järg

Pärast piirangutingimuse valimist saab valida mõjutavat jõudu *Bearing* ja anda raskust ning suunata jõudu nagu joonisel A.7.

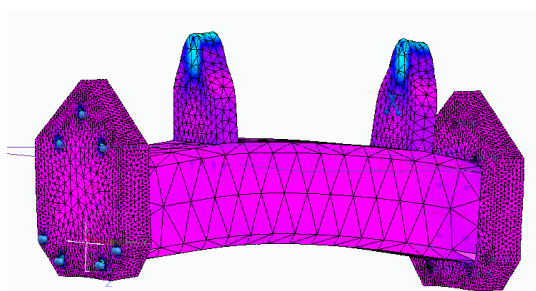


Joonis A.7. Simulatsioon koos jõuga

Lõpus vajutada *Solve* tulemuste näitamiseks.



Joonis A.8. Simulatsiooni menüü tulemusega



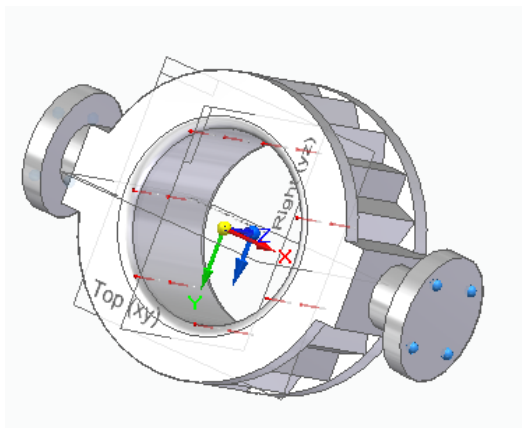
Joonis A.9. Simulatsiooni tulemus

Lisa B. Ülesanne 2 – Solid Edge Soojus Simulatsioon.

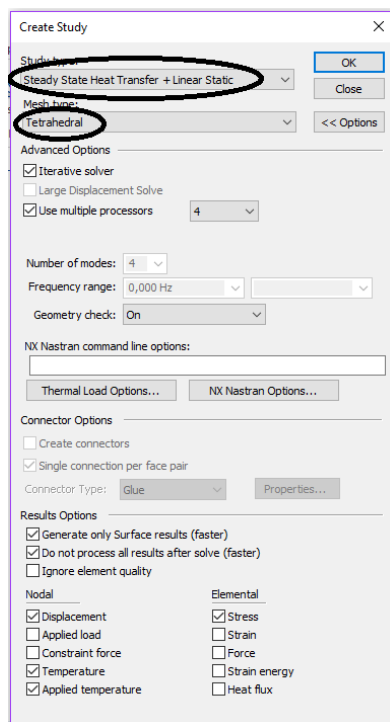
Ülesande eesmärk: Anda kasutajale ülevaade soojuse simulatsiooni tegemisest. Pärast ülesande lahendamist kasutaja peaks oskama:

1. Kasutada soojust oma detailile;
2. Teha simulatsiooni.

Esialgselt tuleb avada Solid Edge programmi koos tehtud detailiga. Valida Simulation ja vajutada *New Study* nuppu, ning valida *Steady State Heat Transfer + Linear Static* ja *Tetrahedral* võrgu.



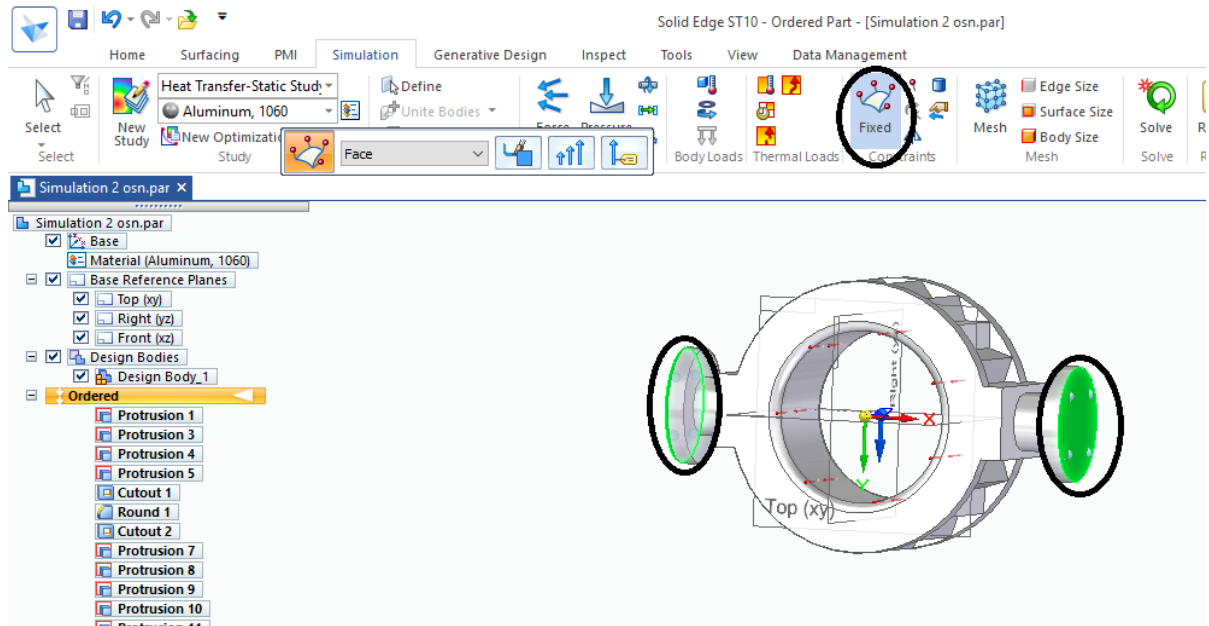
Joonis B.1. Detail



Joonis B.2. Simulatsiooni häälestus

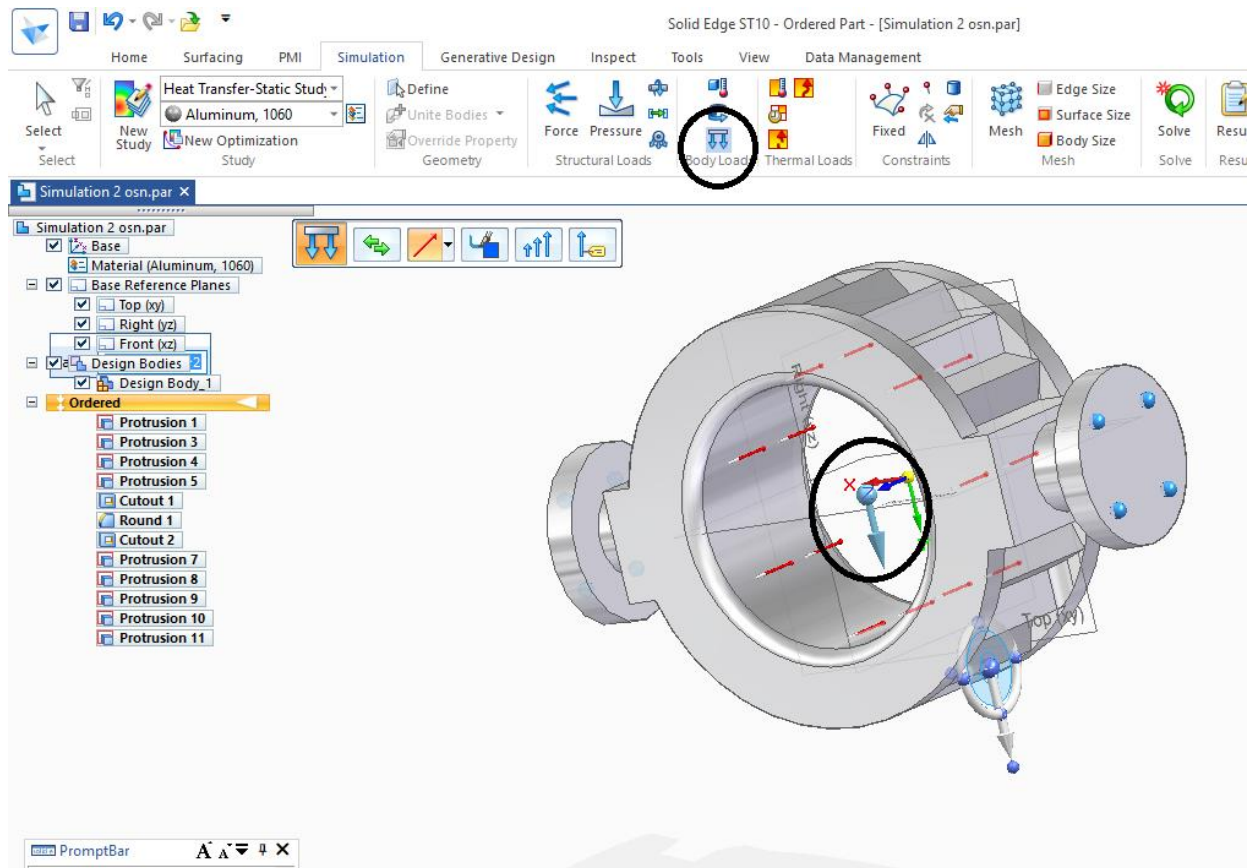
Lisa B järg

Nüüd saab fikseerida *Fixed* nuppu abil nagu joonis B.3.



Joonis B.3. Fikseerimise pinnad

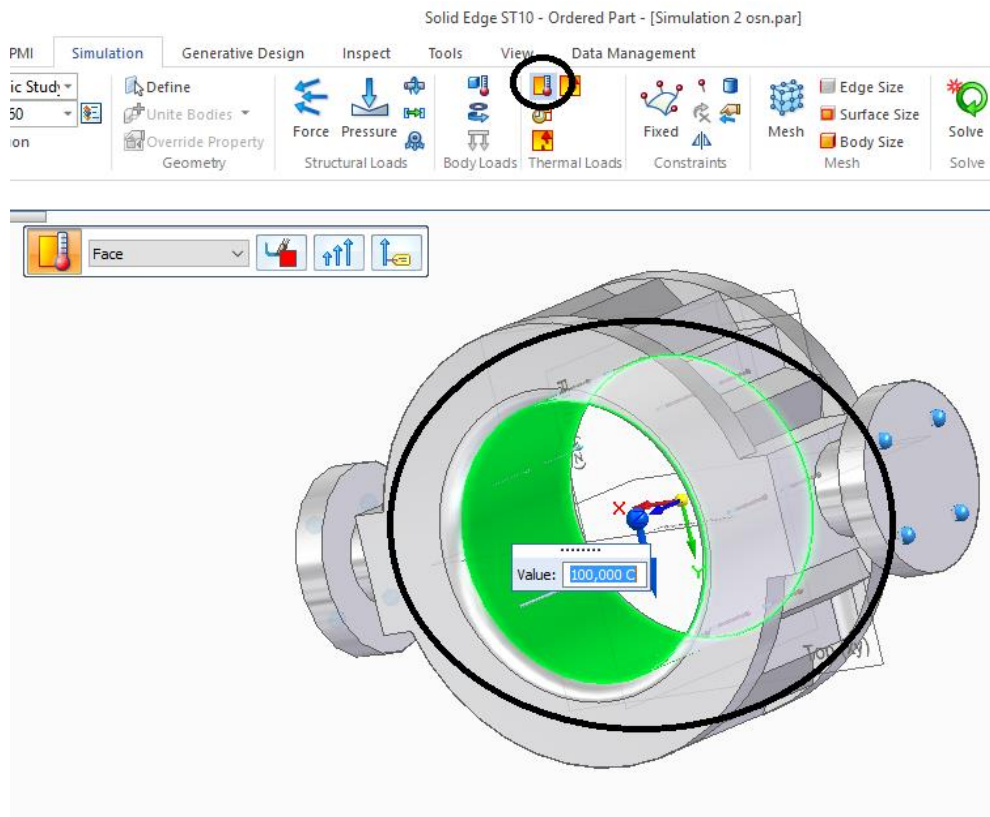
Siis tuleb kasutada gravitatsiooni jõu *Gravity* nagu joonisel B.4.



Joonis B.4. Simulatsioon koos gravitatsiooni jõuga

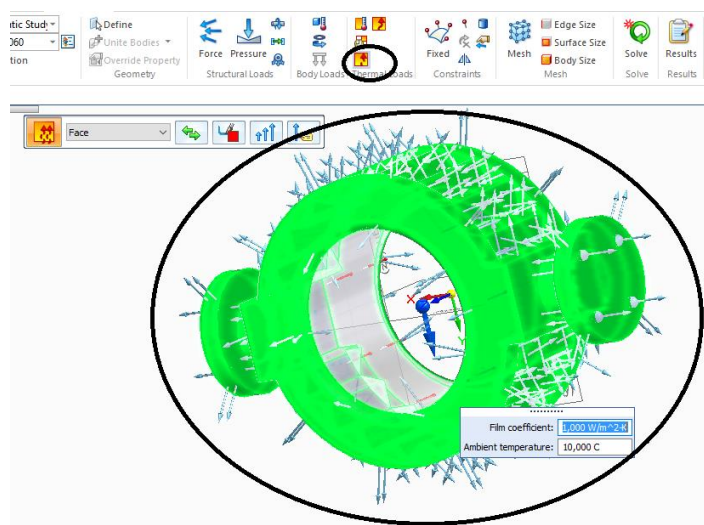
Lisa B järg

Pärast tehtud tegemist on vaja valida temperatuuri *Temperature* funktsiooni ja valida pinda, kuhu mõjub see temperatuur.



Joonis B.5. Simulatsioon koos temperatuuriga

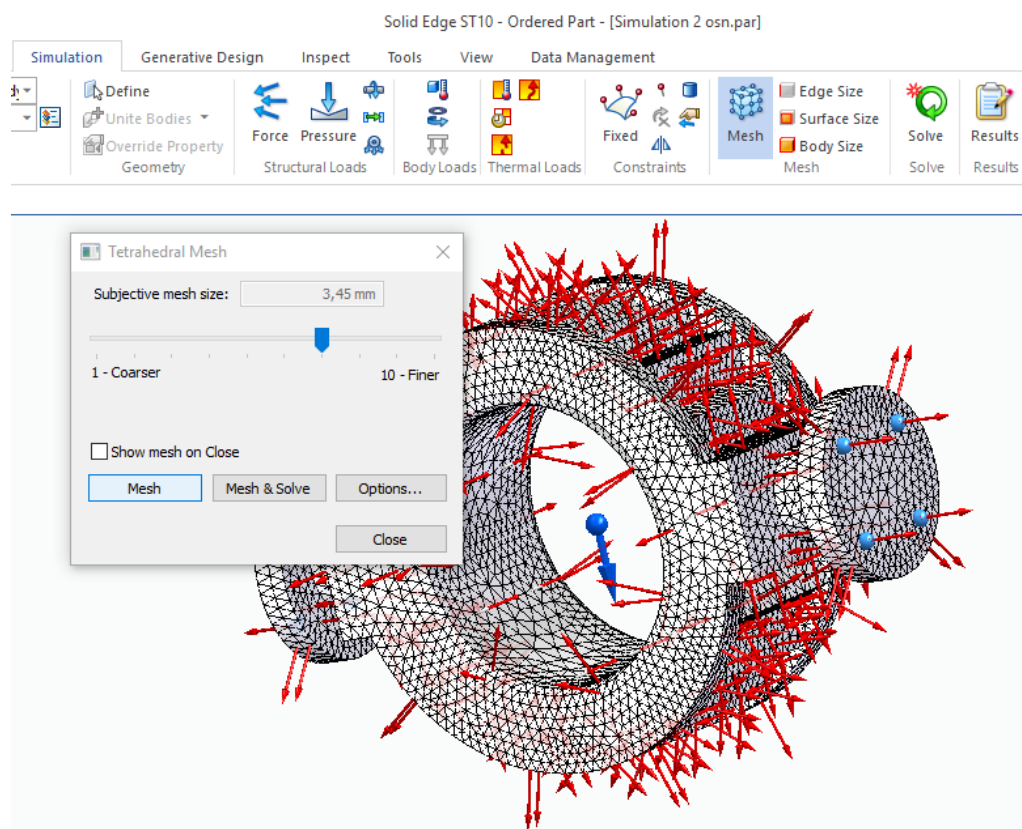
Nüüd tuleb valida *Convection* ning pinnad, kus toimub soojuse konvektsioon. Lihtsam on teha niiviisi, et valida kõik detailid ja eemaldada pinda *Shift+lkm* kombinatsiooniga klahvi abil, kus on juba olemas temperatuur.



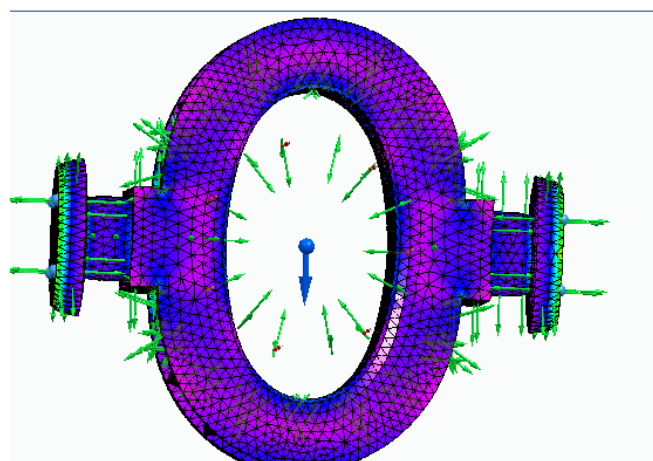
Joonis B.6. Simulatsioon koos temperatuuri konvektsiooniga

Lisa B järg

Järgmiseks teha võrgu *Mesh* ja arvutada tulemused *Solve*.



Joonis B.7. Simulatsioon koos võrguga



Joonis B.8. Simulatsiooni tulemus

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Mihhail Tsõganov,

(sünnipäev 28/juuni/1996 3960623726)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Raalprojekteerimise tarkvara Solid Edge FEM paketi juhend iseseisvaks tööks,

mille juhendaja on PhD Aare Aan,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 16.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)